



Agencia Nacional del Espectro



Espectro para atender el crecimiento futuro y la masificación de aplicaciones IOT

Documento de Análisis de Impacto Normativo
Evaluación de alternativas

www.ane.gov.co

OCTUBRE DE 2023

TABLA CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA	8
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	9
1.2.1 <i>OBJETIVO PRINCIPAL</i>	9
1.2.2 <i>OBJETIVOS GENERALES</i>	9
1.2.3 <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	10
1.3 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	10
1.4 ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN SECTORIAL RESPECTO DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	11
1.4.1 <i>COMENTARIOS RECIBIDOS</i>	11
1.4.1.1 <i>OBSERVACIONES GENERALES</i>	12
1.4.1.2 <i>OBSERVACIONES FRENTE A LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN</i>	15
1.4.1.3 <i>PROPUESTA DE ALTERNATIVAS ADICIONALES</i>	23
1.4.1.4 <i>METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN</i>	24
1.4.1.5 <i>OBSERVACIONES ADICIONALES</i>	28
1.4.2 <i>CONCLUSIONES RESPECTO DE LOS COMENTARIOS</i>	30
1.4.2.1 <i>AJUSTE A LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN</i>	30
2. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	32
2.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	32
2.2 ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	33
2.3 CRITERIOS DE EVALUACIÓN	37
2.4 DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN	39
2.4.1 <i>CUANTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS</i>	40
2.4.1.1 <i>COSTO DE INVERSIONES Y OPORTUNIDAD:</i>	40
2.4.1.2 <i>CONECTIVIDAD PARA REDES IoT - DISPONIBILIDAD DEL SERVICIO</i> 46	
2.4.1.3 <i>ACCESO Y USO DE ESPECTRO - MASIFICACIÓN DE IoT</i>	52

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

2.4.1.4	INFORMACIÓN Y CONDICIONES CLARAS PARA EL DESARROLLO Y USO DE IOT	55
2.4.1.5	GRADO DE DESARROLLO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIONES IOT	61
2.4.1.6	USO DE ENERGÍA	67
2.4.2	DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN	70
3.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	72
3.1	IDENTIFICAR RANGOS DE ESPECTRO PARA REDES PRIVADAS (4G Y 5G)	72
3.2	RECOMENDACIONES A ENTIDADES COMPETENTES PARA QUE SE INCENTIVE LA DIGITALIZACIÓN DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS Y LA ADOPCIÓN DE MECANISMOS DE CIBERSEGURIDAD.....	72
3.3	ESTRATEGIA DE DIVULGACIÓN SOBRE ALTERNATIVAS DE USO DEL ESPECTRO	73
4.	CONCLUSIONES	75
	REFERENCIAS.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación de comentarios recibidos	11
Tabla 2. Criterios de evaluación.....	37
Tabla 3. Cuantificación del criterio de costos de inversiones y oportunidad	45
Tabla 4. Cuantificación del criterio de conectividad para redes IoT.....	51
Tabla 5. Cuantificación del criterio de disponibilidad de equipos para masificar IoT	54
Tabla 6. Cuantificación del criterio de disponibilidad de información y normatividad	60
Tabla 7. Cuantificación del criterio correspondiente al grado de desarrollo para IoT	66
Tabla 8. Cuantificación del criterio relacionado con el uso de energía ..	69
Tabla 9. Resultados de la evaluación de alternativas	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del problema.....	9
Figura 2. Alternativas de solución	10
Figura 3. Alternativas de solución a evaluar	31
Figura 4 Cálculo de las ponderaciones de los criterios de evaluación ...	39
Figura 5 Ponderadores de los criterios de evaluación	40

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AIN	Análisis de Impacto Normativo
ANE	Agencia Nacional del Espectro
CNABF	Cuadro Nacional de Atribución de Bandas y Frecuencias
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales (por sus siglas en inglés)
IoT	Internet de las Cosas (por sus siglas en inglés)
Mintic	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
NB-IoT	Internet de las Cosas de Banda Estrecha (por sus siglas en inglés)
PMGE	Plan Maestro de Gestión del Espectro
PRST	Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones
PRSTM	Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones Móviles
PSO	Proceso de Selección Objetiva
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UPME	Unidad de Planeación Minero-energética

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

INTRODUCCIÓN

Con la incursión de las tecnologías emergentes de la cuarta revolución industrial, se dieron grandes cambios que contribuyen a la transformación digital de los sectores productivos a nivel mundial, entre ellos se encuentran los relacionados con la automatización de procesos, en donde el Internet de las Cosas (IoT) juega un papel fundamental. Así pues, en el marco de la elaboración del Plan Maestro de Gestión de Espectro 2022 - 2026 se consideró pertinente desarrollar un estudio que permita identificar el espectro para atender el crecimiento futuro y la masificación de IoT en el país.

Ahora bien, teniendo en cuenta la importancia de la participación de los grupos de interés en el desarrollo de los estudios llevados a cabo por la ANE, se decidió desarrollar dicho estudio aplicando la metodología de Análisis de Impacto Normativo (AIN), que implica: i) la formulación del problema a resolver en el marco del estudio, ii) la definición de objetivos del estudio, iii) la formulación de alternativas que permitan resolver el problema encontrado, iv) el análisis y evaluación de las alternativas, haciendo uso de la metodología que se considere pertinente para tal fin, v) la elección de la mejor alternativa para resolver el problema y; vi) el diseño de la implementación de la alternativa seleccionada y del monitoreo de la ejecución de la medida adoptada.

En el presente documento, en primer lugar, se hace referencia a la formulación del problema, la definición de objetivos y la formulación de alternativas de solución, etapas ya surtidas y cuyos documentos fueron publicados en su momento para consulta del sector. Luego se presenta el análisis de la participación sectorial respecto de las alternativas de solución, que conllevó a un ajuste de las alternativas de solución planteadas.

La segunda sección del documento presenta la evaluación de las alternativas de solución, en donde a partir de la elección de la metodología de evaluación se definen los criterios de evaluación, que fueron ponderados y cuantificados para relacionarlos con las alternativas planteadas y de esta forma elegir la alternativa que se considera tiene mejor desempeño en la solución del problema identificado. Finalmente, en las últimas secciones de este documento se plantea la propuesta de implementación de la alternativa ganadora y las conclusiones derivadas de la evaluación de alternativas realizada.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVOS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA

Tal como se ha indicado en documentos previos del presente estudio, se está aplicando la metodología de Análisis de Impacto Normativo (AIN), que incluye las etapas de formulación del problema, la definición de objetivos del estudio, la formulación de alternativas de solución, el análisis y evaluación de las alternativas, la elección de la mejor alternativa y el diseño de la implementación de la alternativa seleccionada. A continuación, se presenta de manera resumida la información correspondiente a las tres primeras etapas del AIN, las cuales ya fueron surtidas.

En el documento "*Análisis de Impacto Normativo – Formulación del problema y objetivos*"¹, publicado en la página web de la ANE el 21 de julio de 2022, y en el documento "*Análisis de impacto Normativo – Formulación de las alternativas de solución al problema*"², publicado el 27 de diciembre de 2022, se identificó el problema a abordar en el proyecto, así como sus causas y consecuencias y las posibles alternativas de solución.

1.1 Formulación del problema

A partir de la revisión de información sobre la implementación de soluciones IoT, la revisión de casos de uso y la interacción con agentes de la cadena de valor, se identificó que el problema a resolver es la "*Incertidumbre sobre si las condiciones técnicas y normativas son suficientes para el desarrollo de IoT en Colombia*".

¹ El documento de formulación del problema y objetivos se encuentra en el enlace <https://www.ane.gov.co/Sliders/archivos/gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/Estudios%20de%20gesti%C3%B3n%20y%20planeaci%C3%B3n/Espectro%20para%20IoT/Documentos%20para%20consulta/DocumentoEspectroIoT.pdf>.

² El documento de formulación de alternativas de solución se encuentra en el enlace <https://www.ane.gov.co/Sliders/archivos/gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/Estudios%20de%20gesti%C3%B3n%20y%20planeaci%C3%B3n/Espectro%20para%20IoT/Documentos%20para%20consulta/Documento%20AIN%20-%20Identificaci%C3%B3n%20de%20Alternativas%20V%20Publicar.pdf>.

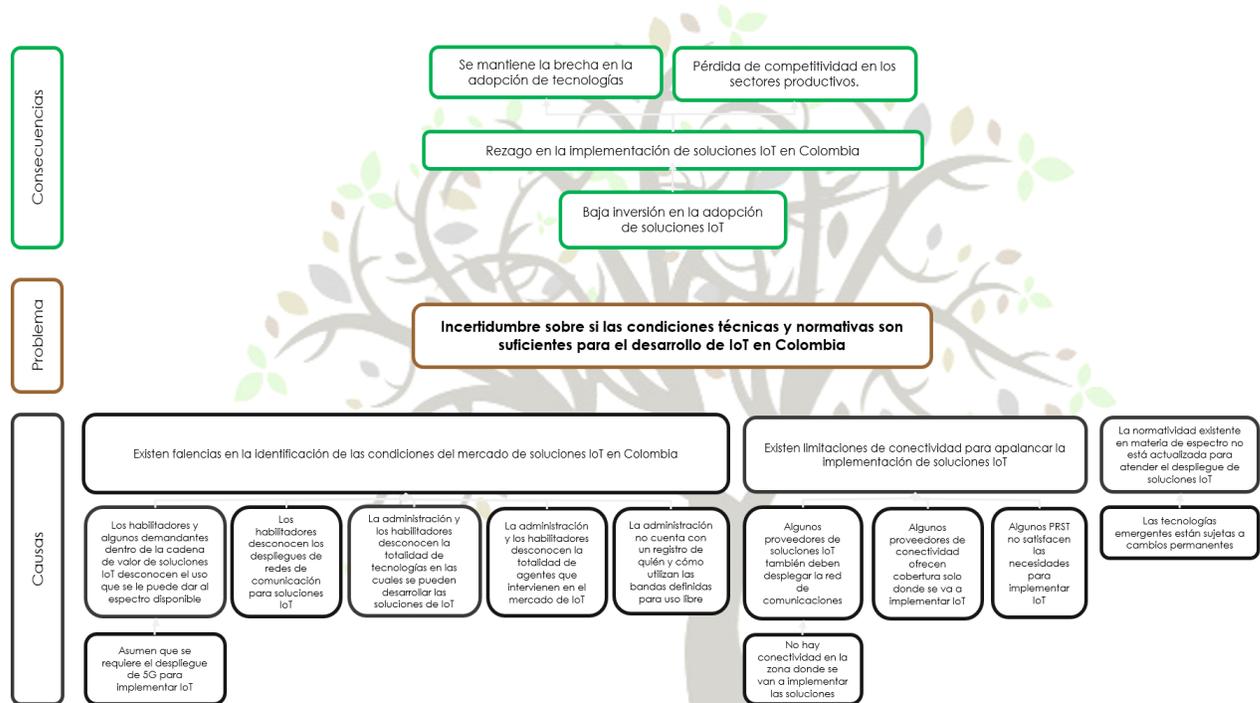
Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Figura 1. Árbol del problema



Fuente: Elaboración ANE

1.2 Definición de objetivos

En el marco del desarrollo del presente estudio, para dar solución al problema planteado, se definieron los siguientes objetivos:

1.2.1 Objetivo principal

Identificar las condiciones técnicas y normativas necesarias que promuevan el acceso al espectro para el desarrollo de IoT en Colombia

1.2.2 Objetivos Generales

- Plantear recomendaciones para promover el despliegue de infraestructura y el incremento de la conectividad incentivando una mayor inversión en la adopción de soluciones IoT.
- Identificar mecanismos que permitan dinamizar la normatividad en materia de espectro para que se adecúe a las necesidades inherentes al desarrollo de IoT.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

1.2.3 *Objetivos Específicos*

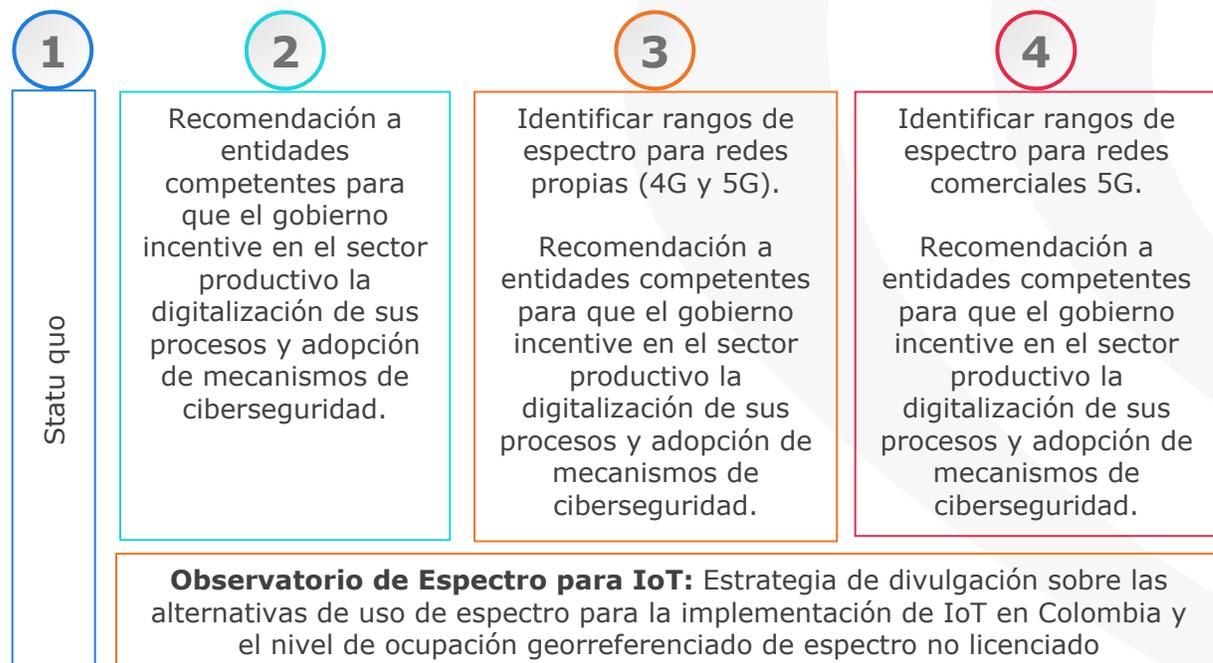
Para contribuir al cumplimiento del objetivo general se plantean como objetivos específicos los siguientes:

- Identificar las condiciones de oferta y demanda de IoT en Colombia, que permitan tener mayor claridad respecto de las necesidades de espectro.
- Analizar las limitaciones de conectividad necesaria para el desarrollo de IoT en Colombia.
- Revisar la normatividad existente en materia de gestión de espectro para evidenciar vacíos que limiten el desarrollo de IoT en Colombia

1.3 **Formulación de alternativas de solución**

A partir de la revisión de información respecto de mejores prácticas internacionales y teniendo presente cada uno de los elementos del árbol del problema y los objetivos definidos en el presente estudio, así como las observaciones y comentarios recibidos respecto de la formulación del problema, se plantearon las alternativas de solución que se presentan en la Figura 2.

Figura 2. Alternativas de solución



Fuente: Elaboración ANE

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

1.4 Análisis de la participación sectorial respecto de las alternativas de solución

A continuación se presenta un resumen de los comentarios recibidos en el marco de la consulta pública respecto del documento de formulación de alternativas de solución, una conclusión respecto de los mismos y las alternativas de solución modificadas a partir de las observaciones recibidas de algunos agentes de interés.

1.4.1 Comentarios recibidos

En relación con el documento de formulación de alternativas de solución al problema, se recibieron comentarios y respuestas al cuestionario por parte de diez (10) participantes, entre los que se encuentran siete (7) Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones (PRST), una (1) organización sin ánimo de lucro, una (1) empresa de servicios públicos y un (1) fabricante. La publicación para comentarios se realizó en la página web de la ANE el 27 de diciembre, con plazo para participar hasta el 20 de enero de 2023, no obstante, por solicitud de algunos agentes interesados éste se amplió hasta el 17 de febrero de 2023.

Así las cosas, en el marco de la consulta pública se recibieron comentarios de los siguientes agentes:

Tabla 1. Relación de comentarios recibidos

REMITENTE	ABREVIATURA	FECHA
Telrad Networks	NA	8 de febrero de 2023
Colombia Móvil S.A. ESP	TIGO	14 de febrero de 2023
Nokia Solutions and Networks	NA	17 de febrero de 2023
Comunicación Celular S.A.	CLARO	17 de febrero de 2023
Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá S.A. ESP	ETB	17 de febrero de 2023
Colombia Inteligente	NA	17 de febrero de 2023
Empresas Públicas de Medellín ESP - EPM	EPM	17 de febrero de 2023
Omnispace Colombia SAS y Omnispace LLC	Omnispace	17 de febrero de 2023
Partners Telecom Colombia S.A.S. - WOM	PTC	17 de febrero de 2023

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

REMITENTE	ABREVIATURA	FECHA
Colombia Telecomunicaciones S.A. ESP	Telefónica	17 de febrero de 2023

Fuente: Elaboración ANE

A continuación, se presenta un resumen de los comentarios recibidos, los cuales se agruparon por temáticas, así:

1.4.1.1 Observaciones generales

TIGO indica que IoT sirve de apalancamiento para la digitalización de los sectores productivos del país y que el tema principal es la falta de conocimiento e interés por parte del sector productivo en la implementación de soluciones TIC, por lo que resalta que la ANE haya tenido en cuenta este elemento en la mayoría de las alternativas de solución planteadas. No obstante, considera que para verificar los requerimientos de espectro para IoT se debe establecer el avance y los requerimientos actuales de esta tecnología en el país y presenta como referencia los datos de la OCDE³ que reflejan el poco avance de los países latinoamericanos al respecto.

De otra parte, indica que a nivel nacional solamente se tienen aplicaciones básicas que son eminentemente transaccionales con bajos requerimientos de ancho de banda y latencia y si bien, el sector productivo tiene altas expectativas con respecto a posibles desarrollos de IoT y de aplicaciones industriales sobre 5G, se debe considerar que las frecuencias sobre las que se va a desplegar inicialmente esta tecnología no son ideales para algunas de estas aplicaciones. Además, menciona que la mayoría de las aplicaciones masivas de IoT que se están implementando en el país pueden ser atendidas por tecnologías 4G, razón por la cual consideran importante definir cuando se requerirá de las capacidades de 5G para atender las aplicaciones necesarias para el sector productivo.

Asimismo, señala que 5G permitirá que IoT crítico⁴ se convierta en una realidad en el futuro, no obstante, resalta que las aplicaciones de misión crítica apenas se están desarrollando, por lo que las aplicaciones inherentes al sector productivo se pueden utilizar, haciendo uso de las tecnologías existentes en el mercado, tales como 4G (LTE-M /NB-IoT) y no consideran necesario que se

³ OCDE presenta un indicador basado en el número de tarjetas M2M con suscripción móvil por cada 100 habitantes, según el cual, a junio de 2022, los países latinoamericanos más avanzados (Chile y México) contaban con menos de 5 tarjetas por cada 100 habitantes, un valor muy bajo comparado con el promedio OCDE de 33,2.

⁴ Se conoce como IoT crítico a aquellas aplicaciones que son de vital importancia para garantizar la seguridad, proteger la salud y la infraestructura, entre otros, de ahí que se requiera de comunicaciones ultra confiables, de muy baja latencia y muy alta disponibilidad [44].

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

reserven porciones de espectro de bandas destinadas a 5G para estas aplicaciones o para redes privadas.

Finalmente, consideran que el mercado debe ser el encargado de definir el avance de IoT, de acuerdo con los requerimientos que tengan los diferentes sectores productivos del país, basado en la capacitación que puedan impartir entidades que tengan mayor conocimiento y autoridad en estos temas y que la normatividad actual permite que las IoT sigan avanzando.

CLARO manifiesta que la ANE encuentra en el espectro de uso libre, la solución al problema identificado, por lo que considera que la ANE debe analizar la necesidad de continuar con la propuesta de destinar más franjas de espectro IMT para uso libre, teniendo en cuenta: i) que recientemente se definió la banda 6 GHz “con un más de 1200 MHz disponibles”, bajo la modalidad de uso libre, ii) las nuevas renovaciones de espectro, iii) la subasta 5G iv) los postulados constitucionales y legales sobre permisos de uso de espectro, y v) la ausencia de un Análisis de Impacto Normativo que tenga en cuenta la situación actual y real referente a la asignación de espectro.

Al mismo tiempo, señala que es importante que el desarrollo de las actividades propuestas sea realizado luego de un Análisis de Impacto Normativo (AIN) que se enfoque en evaluar las implicaciones técnicas y económicas que genera el restringir y/o fragmentar el uso del espectro, que no debe favorecerse ningún sector de la economía, por encima de otro y que debe evaluarse si la propuesta objeto de comentarios contribuye a crear un entorno seguro y de certidumbre para los operadores,

Finalmente, sugiere que la ANE adopte las siguientes actividades, enfocadas en la debida gestión del espectro, con el fin de beneficiar a todos los agentes del sector TIC:

- Realizar la subasta para 5G, dada la necesidad de bandas de frecuencia para esta tecnología.
- Modificación de los topes de espectro.
- No más bandas de uso libre.
- Flexibilización de espectro, formular e implementar políticas enfocadas a reducir costos del despliegue de infraestructura, mejora regulatoria con la disminución de obligaciones.
- El espectro no debería ser manejado por agentes distintos a los del sector TIC, esto con el fin de evitar interferencias en la operación.

OMNISPAC manifiesta que “la cobertura ubicua⁵ y conectividad de los satélites es fundamental para la expansión y masificación de IoT”, pues las redes

⁵ Cuando el proveedor menciona la cobertura ubicua de los satélites, se podría inferir que las redes satelitales pueden suministrar cobertura en todas partes.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

satelitales pueden ser usadas en una gran variedad de aplicaciones y casos de uso, además, consideran que las aplicaciones de IoT basadas en conectividad satelital contribuirán al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

PARTNERS indica que no hay un desarrollo muy amplio frente al tema de normatividad y reglamentación para el fomento de las soluciones IoT, pero que la causa principal es la brecha digital que aún existe en Colombia. De igual manera, indica que la dificultad de acceder al espectro, las barreras existentes para el despliegue y la posición dominante de unos pocos sobre la infraestructura y las redes, son situaciones que afectan a todo el sector de las telecomunicaciones en el país y que se debe crear una política pública de acceso universal, continuidad en la prestación de los servicios y reducción de la brecha digital.

De otra parte, manifiesta que se debería fortalecer el despliegue de infraestructura y la dinamización del acceso al espectro, pero teniendo en cuenta que no todos los sectores comerciales y económicos tienen la experticia que se requiere para el manejo de las redes y del espectro radioeléctrico y que las consecuencias no se relacionan con el problema planteado, sino con el ineficiente despliegue de red y uso ineficiente del espectro, por lo que invitan al Mintic y a la ANE, a aprovechar la experticia de los actuales asignatarios y Proveedores de Redes de y Servicios de Telecomunicaciones Móviles (PRSTM), para el fomento y el acceso a las IoT en todo el territorio nacional.

Por último, señala que es evidente el desconocimiento de varios de los sectores productivos sobre los beneficios y las formas de acceder a las tecnologías de la información y las comunicaciones y que esta falta de conocimiento es una barrera para el crecimiento, desarrollo y masificación de las IoT, razón por la cual recomienda que todos los agentes del sector y las entidades gubernamentales instruyan a todos los agentes de diversos sectores económicos sobre la apropiación y el conocimiento de las ventajas de las TIC.

TELEFÓNICA plantea las siguientes recomendaciones: i) Espectro IMT a costos razonables; ii) Uso de tecnologías 3GPP para el IoT y reservas de espectro y iii) 5G como pilar fundamental para el desarrollo del IoT. En relación con el primer punto, indica, que *"se deben crear políticas públicas para fomentar y facilitar un despliegue de cobertura más amplio y sólido, en aras de cerrar la brecha digital y agilizar la transformación digital a partir de la implementación del IoT"*.

Frente a la segunda recomendación señala que se debe asignar espectro para servicios IMT a aquellos actores que tienen una mayor capacidad de generar valor y que *"las reservas de espectro plantean importantes riesgos para los servicios móviles más amplios"* y puede generar escasez del recurso que alienta a pagar precios más altos por el espectro, lo que conllevaría a menores inversiones en la implementación de las redes, despliegues más lentos,

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

cobertura limitada y menores velocidades de datos. Y respecto al tercer punto manifiesta que, si bien 5G es ideal para impulsar el desarrollo del IoT en Colombia, el verdadero potencial de esta tecnología está sobre las bandas medias, y no sobre las bandas altas.

1.4.1.2 Observaciones frente a las alternativas de solución

I. Observaciones frente a la alternativa de mantener el Statu quo

TELRAD sugiere tener en cuenta a los pequeños y medianos ISP, dado que pueden ser un actor importante en el despliegue de redes para implementar aplicaciones IoT o similares.

TIGO considera que la creación del "Observatorio de Espectro para IoT", planteada en la alternativa número 2, incluye un punto que podría complementar la alternativa del statu quo; además sugiere incluir en dicho observatorio las frecuencias disponibles y redirigir a la cobertura de los operadores móviles que son la opción más rápida y viable de desarrollar aplicaciones de IoT para los sectores productivos.

NOKIA señala que el mero desarrollo orgánico del sector IoT, cubierto por la alternativa "Statu Quo" ha traído un lento desarrollo y una penetración relativamente baja de esta tecnología en Colombia.

CLARO manifiesta que en los análisis considerados para la propuesta, la ANE omitió la reciente designación de la banda de 6 GHz para uso libre y la próxima subasta de espectro para 5G, razón por la cual no resulta coherente la necesidad de destinar más espectro IMT para uso libre.

ETB considera que es necesario contemplar dentro de los efectos negativos de mantener el Statu Quo, la inexistencia de una guía que recoja las recomendaciones de uso de espectro para equipos IoT en Colombia y promueva la estandarización y la seguridad por diseño.

COLOMBIA INTELIGENTE señala que mantener el "statu quo" no facilitará el crecimiento y masificación de las aplicaciones IoT y sugiere que la ANE emprenda acciones que fomenten y permitan la inclusión de los avances tecnológicos para garantizar la eficiencia técnico-económica y el bienestar social del país.

EPM considera que no se debe mantener el statu quo, en la medida en que el acceso al espectro radioeléctrico es un habilitador del desarrollo social y económico basado en las tecnologías de la cuarta revolución industrial, entre ellas el IoT y, resalta la importancia de continuar trabajando con grupos de interés para identificar necesidades en materia de gestión de espectro y otros agentes que puedan tener interés en la masificación de esta tecnología.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

OMNISPACE manifiesta que al mantener el “*statu quo*” se pierden oportunidades para promover la adopción de IoT.

PARTNERS Considera que mantener el Statu quo no es la mejor iniciativa, sino que lo que existe hoy debería ser mejorado con capacitaciones, apropiación y conciencia de la importancia del uso de las TIC, para mejorar procesos y fortalecer iniciativas en diferentes sectores tradicionales e innovadores que puedan ser motor de la economía.

TELEFÓNICA indica que “*el desconocimiento que alega la ANE que existe por parte de algunos actores de la cadena de valor no presenta un problema en la realidad*”, que la alternativa del statu quo puede resultar en una buena práctica si se implementa tal y como lo define la ANE en su documento en consulta. Así mismo, consideran que las redes de telecomunicaciones existentes son un potente vehículo para masificar rápidamente las nuevas tecnologías de punta, por lo que es previsible que la adopción de las nuevas tecnologías ocurra de manera natural y sin la necesidad de una intervención regulatoria.

Es así como insisten en que la mejor manera de aprovechar los recursos existentes es a través de la flexibilización de las condiciones en las cuales los operadores acceden a tales recursos, como el precio del espectro y su uso flexible, los permisos de instalación de las radiobases o la fibra, y la agilidad para implementar los acuerdos de compartición de infraestructura, entre otros aspectos.

II. Observaciones frente a la alternativa 2

TELRAD Sugiere que parte de la estrategia de divulgación incluya desplazarse a las regiones para explicar las opciones que tendrían los pequeños y medianos proveedores de internet para el uso del espectro.

TIGO considera que la alternativa 2 podría contribuir al desarrollo y fomento de la tecnología IoT, aunque deberían ser los requerimientos propios del mercado los que deberían marcar las tendencias de crecimiento de IoT en Colombia.

NOKIA manifiesta que esta alternativa puede ayudar con los procesos de sensibilización y conocimiento de las alternativas técnicas, pero será insuficiente por sí sola para incentivar la digitalización de los sectores y por lo tanto no será efectiva en la solución del problema.

CLARO señala que esta alternativa se encuentra más enfocada en temas de apropiación, que como política pública están en cabeza del Mintic.

ETB sugiere que el Observatorio de Espectro para IoT cuente con una plataforma que permita dar claridad acerca del espectro para IoT de uso libre y de uso licenciado, exclusivamente y que adicionalmente se tenga en cuenta la creación

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

de una Incubadora IoT, mediante la cual diferentes entidades del estado brinden asesoramiento para la adopción de IoT en la industria.

COLOMBIA INTELIGENTE considera que con esta alternativa no necesariamente se soluciona el problema, pero si debe ser una acción para adelantar por parte de la ANE, aunque no debe ser vista como una alternativa sino una actividad transversal, e indica que *“la ANE brindaría los lineamientos para una masificación organizada o armonizada soportada en estándares internacionales”*.

EPM indica que esta alternativa puede impulsar el cierre de la brecha digital mediante la difusión del conocimiento, sin embargo, carece de carácter habilitador en la medida que no posibilita o facilita directamente el acceso al espectro radioeléctrico a los diferentes sectores sociales y económicos, por lo que considera que no es la mejor opción para impulsar la implementación de IoT en Colombia.

En cuanto a la presentación de recomendaciones a otras entidades competentes en materia de políticas públicas, sugiere que se trace un plan más ambicioso enfocado en el trabajo conjunto entre entidades públicas con el objetivo de lograr la digitalización de los sectores que cada una de ellas representa.

OMNISPACE señala que esta alternativa es la más adecuada, pues contempla una estrategia de divulgación de las alternativas del uso del espectro y presenta diversas recomendaciones para incentivar la digitalización de los diversos sectores de la economía, por lo que impulsará la implementación de IoT en Colombia.

De igual manera, considera que el *“Observatorio de Espectro para IoT”* propuesto ayudará a todos los usuarios (gubernamentales y privados) a comprender mejor los posibles casos de uso de IoT y las bandas de frecuencia sin licencia disponibles. Finalmente, sugieren incluir algunos ejemplos de los diferentes tipos de dispositivos IoT que están disponibles en el mercado.

PARTNERS manifiesta estar de acuerdo con lo descrito en la alternativa 2, la cual permite solucionar el problema de impulsar la implementación de IoT en Colombia, dado que es importante primero desarrollar en los sectores el sentido de apropiación y entendimiento de los beneficios que trae IoT para cada industria y posterior a esto poder tomar medidas regulatorias y técnicas que permitan el uso eficiente del espectro y el desarrollo de IoT en el país.

Así mismo, señala que es positivo que se hable del tema de la digitalización de los procesos y la adopción de los procesos de mejora de la ciberseguridad, no obstante, frente al tema del uso no licenciado o espectro libre, considera que esta opción no resulta favorable frente al uso eficiente del espectro.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

TELEFÓNICA considera que esta alternativa puede ayudar a impulsar la digitalización, sin embargo, la aplicación de esta de manera aislada no ayudará a solucionar el problema en su forma estructural. Además, indica que es importante que los desafíos de la masificación del IoT en Colombia se analicen desde un punto de vista holístico y la solución se trabaje sinérgicamente desde dos aristas: la primera, a través de la difusión del conocimiento y opciones que tienen todos los sectores para digitalizarse, y la segunda, mediante la flexibilización de los procesos para que los operadores que ya tienen infraestructura puedan obtener los recursos necesarios para robustecer las redes existentes.

III. Observaciones frente a la alternativa 3

TELRAD indica que se debería identificar espectro para redes propias, tanto para 5G como para LTE (4G o 4.5G), e incluir la banda de 2300 a 2400 MHz, toda vez que es la banda más común entre los diferentes fabricantes de dispositivos del mercado, por lo que la masificación sería mucho más sencilla, y más teniendo en cuenta que LTE es una tecnología ampliamente desplegada.

En adición a lo anterior, señala que las redes privadas ayudan con problemas de ciberseguridad, niveles de servicio y disponibilidad en caso de desastres, toda vez que las redes públicas son las primeras en colapsar en dichos eventos y son cruciales para lograr despliegues IoT que impulsen la industria y así alcanzar la masificación de aplicaciones en todo el país.

TIGO manifiesta que la reserva de espectro de 5G para redes privadas no parece la mejor opción y especialmente en las bandas de 3.5 GHz (n77 y n78) y 26 GHz, dado que: i) estas bandas ofrecen muy poca cobertura y penetración en edificaciones lo que dificulta especialmente su aplicación en el sector industrial, ii) este espectro será requerido para ampliaciones de 5G teniendo en cuenta que la banda de 6 GHz se destinó en su totalidad para uso libre y iii) el ecosistema de 5G no está totalmente desarrollado, por lo que hay menor disponibilidad de equipos y su costo es más elevado con respecto a tecnologías anteriores.

Al mismo tiempo, **TIGO** trae como referencia recomendaciones de la GSMA, respecto a hacer reservas de espectro 5G para las industrias verticales, toda vez que dichas reservas pueden conllevar a un uso ineficiente del espectro e indica que la opción más viable es que los operadores móviles presten servicios a los sectores verticales.

NOKIA considera que esta alternativa es considerablemente más robusta como elemento habilitador y parte de una estrategia para una mayor adopción de soluciones IoT, por lo que se deben considerar los ajustes a la normatividad sobre asignación y uso del espectro, para que este recurso pueda ser solicitado

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

y utilizado directamente por los sectores productivos para la implementación de redes privadas.

De igual modo, sugiere revisar elementos relacionados con los extremos de la cadena de valor de las soluciones IoT, tales como el desarrollo del ecosistema de dispositivos y oferta de aplicaciones o casos de uso, para asegurar su viabilidad.

CLARO considera que no es necesario que se destine una franja de espectro para redes propias e indica que no puede favorecerse a ningún sector de la economía, por encima de otro, al dejar con destinación específica y restringida para el sector de servicios públicos domiciliarios una franja de espectro de uso libre y que dicha iniciativa, además de ser contraria a los postulados de la Constitución Política de Colombia, afecta claramente la certidumbre jurídica y estabilidad del sector.

ETB considera que no es necesariamente excluyente la asignación de espectro para redes propias, y la asignación de espectro para 5G, ya que existen otras bandas de frecuencia y tecnologías que pueden ser utilizadas de manera complementaria, dependiendo del presupuesto y la aplicación industrial o masiva que se vaya a implementar.

COLOMBIA INTELIGENTE manifiesta que con esta alternativa se fomentaría el desarrollo de redes privadas para el uso de aplicaciones ya maduras y la prueba de aplicaciones en desarrollo, lo que facilitaría la implementación de areneras regulatorias para el desarrollo de productos y servicios soportados en IoT.

EPM señala que permitir a los diferentes sectores sociales y económicos que desplieguen sus propias redes de telecomunicaciones permitiría la implementación de las diferentes aplicaciones de IoT, lo que serviría de motor para su masificación en el país, así pues, esta sería la alternativa más efectiva para dar respuesta a la problemática identificada y manifiesta que existe suficiente fundamento jurídico⁶ y técnico⁷ que respalda la juridicidad y viabilidad de asignar espectro a los diferentes sectores sociales y económicos para desarrollar el ecosistema del Internet de las cosas en nuestro país.

OMNISPACE considera que no es necesario destinar o identificar rangos de frecuencia específicos para aplicaciones de IoT, pues las entidades y/o empresas deberían poder usar cualquier banda de frecuencia para implementar sus aplicaciones de IoT, incluyendo las bandas de uso no licenciado, las bandas

⁶ Materialización de la igualdad en el acceso al espectro radioeléctrico definida en el artículo 75 de la Constitución Política de Colombia.

⁷ Desarrollo de soluciones específicas para el sector eléctrico, tanto en 4G como en 5G, enfocadas en la digitalización del sector de extremo a extremo.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

identificadas para las IMT, y las bandas de frecuencia atribuidas para servicios satelitales, y señala que los esfuerzos del gobierno colombiano deberían enfocarse en la promoción de la demanda de aplicaciones de IoT y mantener la regulación en un mínimo adecuado y prudente, pues consideran que la flexibilidad de la regulación de espectro permite a los operadores y usuarios del espectro elegir la tecnología y los servicios que desean implementar.

PARTNERS considera que la implementación de redes propias no es un motor para la implementación y masificación de IoT en el país y que la asignación de espectro a diversos sectores genera un costo operativo y un riesgo altísimo frente al uso eficiente de este recurso y la planeación para el despliegue, así mismo indica que la asignación del espectro y la delegación en la prestación del servicio a terceros sin control o sin conocimiento de las realidades técnicas, operativas y regulatorias, pueden generar más daños que beneficios para los sectores económicos y para la ciudadanía en general.

De otro lado, propone que a futuro se dé la posibilidad de arrendar el derecho de uso del espectro a terceros de una manera regulada por la ANE, en donde los operadores sigan ostentando la titularidad del permiso y el cumplimiento de las responsabilidades y obligaciones económicas y jurídicas establecidas.

TELEFÓNICA considera que esta no es una buena opción, pues existen otras opciones para soportar las necesidades de los diferentes actores que conforman el tejido productivo colombiano, y que respetan las condiciones de las asignaciones de espectro vigentes, así como la naturaleza y alcance de las asignaciones primarias de espectro. También manifiesta que esto es posible incluso en zonas apartadas de la geografía nacional, habilitando, por ejemplo, códigos y numeración para redes privadas virtuales y esquemas de servicio dedicados, con lo que se respetarían las máximas de uso eficiente del espectro y de prelación de interés general.

IV. Observaciones frente a la alternativa 4

TELRAD considera que no es suficiente 5G para lograr la masificación de IoT, pues se necesita espectro para 4G o LTE, por ejemplo la banda de 2300 a 2400 MHz e indica que contar solo con redes 5G implica que se deben crear redes para dispositivos 5G, cuando ya existen millones de dispositivos 4G o LTE con las mismas prestaciones de 5G, listos para ser usados, por lo que una buena práctica es permitir 4G y 5G; *“lo anterior sumado a un procedimiento sencillo y fácil para crear redes privadas puede disparar la implementación de IoT en todos los sectores productivos e industriales del país”*.

TIGO considera que no es necesario 5G para que se realicen los despliegues de IoT y se potencialice su uso, sobre todo en sus primeras etapas y que se debe definir realmente cuando se requerirá de las capacidades de 5G para atender

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

aplicaciones que requiere el sector productivo. Adicionalmente indica que i) las aplicaciones masivas de IoT ya se están ejecutando hoy, respaldadas por tecnología 4G, ii) las aplicaciones de misión crítica apenas se están desarrollando y iii) las aplicaciones que se encuentran actualmente de manera generalizada en el sector productivo se pueden atender con las tecnologías presentes en el mercado como lo es 4G (LTE-M /NB-IoT).

Así mismo, señala que si se aterrizan las aplicaciones al contexto colombiano se evidencia que la mayoría pueden ser atendidas por tecnologías 4G y que el país está lejos de requerir del manejo de la cantidad de dispositivos que promete la tecnología 5G, de hasta un millón de dispositivos conectados por kilómetro cuadrado.

Además, **TIGO** manifiesta que 5G en sus primeros despliegues tendrá bandas de frecuencia muy altas (3.500 MHz) con cobertura limitada lo que dificulta la conexión de los dispositivos terminales que se encuentran indoor o en lugares de difícil acceso, por ejemplo, los lectores de servicio públicos AMI. También mencionan que otro punto a considerar es el costo de los dispositivos terminales que por ahora es elevado, por lo que la mejor opción para las aplicaciones que hay en el país en el corto y mediano plazo son las redes de 4G.

NOKIA señala que, en el corto plazo el despliegue de redes 5G será importante para apalancar el desarrollo de aplicaciones industriales que requieran altos anchos de banda, redes privadas de grado industrial o misión crítica con foco en servicios de banda ultra-ancha (eMBB) y en el mediano plazo apalancará también el desarrollo de aplicaciones de tipo IoT. Además, considera que el desarrollo de las aplicaciones de IoT sobre 5G tendrá mayor impulso una vez las redes, chipsets y dispositivos 5G se masifiquen e incorporen las características de los Releases 16 y 17, entretanto, se debería trabajar en el desarrollo del ecosistema de conectividad y de aplicaciones IoT sobre las tecnologías en las que hay mayores economías de escala, tales como Nb-IoT, LTE-M, redes privadas LTE, etc.

CLARO manifiesta que la ANE no fue rigurosa en el análisis de la masificación de IoT, al no considerar los efectos de la Subasta de 5G y que las medidas que pretende adoptar la ANE deben considerar los agentes que actualmente concurren en el sector, brindar certidumbre jurídica y generar el menor impacto posible.

Adicionalmente considera importante que el desarrollo de las actividades propuestas sea realizado luego de un Análisis de Impacto Normativo (AIN) que se enfoque en evaluar las implicaciones técnicas y económicas que genera el restringir y/o fragmentar el uso del espectro y las distorsiones en el mercado por las asimetrías que se pueden generar entre nuevos agentes que se verían favorecidos por usos de espectro libre, sin costo, y los operadores existentes.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

ETB considera que no es excluyente la asignación de espectro para redes propias, y la asignación de espectro para 5G, ya que existen otras bandas de frecuencia y tecnologías que pueden ser utilizadas de manera complementaria, dependiendo del presupuesto y la aplicación industrial o masiva que se vaya a implementar.

COLOMBIA INTELIGENTE considera que esta alternativa no necesariamente permite impulsar la masificación de IoT en Colombia, pues proveer un ecosistema de aplicaciones de misión crítica también debería limitar sobre quiénes podrán proveerlo y/o utilizarlo, independientemente si se soporta en redes 5G para masificar las aplicaciones IoT e indica que no se debería restringir el uso de estas aplicaciones sobre un tipo de redes.

EPM Considera que las redes 5G de los operadores incumbentes no son el instrumento ideal ni idóneo para apalancar el desarrollo de las aplicaciones de misión crítica, ni son suficientes para impulsar la masificación de IoT y por lo tanto no deben ser el único instrumento usado para lograr ese objetivo y trae como referencia algunos lineamientos de la UIT, respecto de utilizar las redes móviles de telecomunicaciones IMT, bajo la denominación de Redes móviles de emergencia (EMN), como instrumento para las comunicaciones de misión crítica y de la armonización del rango de frecuencias de 694 - 894 MHz, para ser usado en comunicaciones de banda ancha de misión crítica.

En este mismo sentido, **EPM** señala que el grupo de arquitectura de sistemas (System Architecture SA6) de 3GPP viene trabajando en integrar las radiocomunicaciones de misión crítica con el mundo IMT - LTE y que dichas aplicaciones se han ido incorporando progresivamente en el ecosistema IMT.

Finalmente, considera que encomendar a las redes 5G (IMT 2020 principalmente bajo la estandarización 5G NR 3GPP) la responsabilidad única de apalancar el desarrollo del ecosistema de IoT puede producir el efecto contrario al deseado, al limitar las opciones tecnológicas y los escenarios de uso, lo que también puede traducirse en la vulneración del principio de neutralidad tecnológica y que esta opción somete el desarrollo del ecosistema de IoT a las decisiones técnicas y comerciales de los operadores que hoy integran el mercado oligopólico de las telecomunicaciones móviles, máxime cuando todavía no se han desplegado en nuestro territorio las redes 5G y la mayoría de equipos para IoT que operan sobre espectro IMT funcionan sobre IMT Advanced y no en 5G.

OMNISPACE reitera que no se deben destinar rangos de frecuencia específicos para aplicaciones de IoT o para cualquier otra aplicación, pues se estaría limitando el acceso al uso del espectro por parte de otras tecnologías o aplicaciones, lo que iría en contravía de los objetivos de la gestión del espectro y del enfoque de neutralidad tecnológica contemplado en la Ley. Además,

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

considera que los esfuerzos del gobierno colombiano deberían enfocarse en la promoción de la demanda de aplicaciones de IoT.

PARTNERS considera que el espectro destinado a 5G, según el estándar 3GPP, no es la mejor opción para destinar un segmento exclusivamente para IoT, dado que las bandas altas tienen como característica que su mayor ancho de banda permite mayores velocidades de transmisión de datos, pero baja penetración en interiores, mientras que las bandas bajas permiten una propagación más amplia de las señales y llegar a interiores, donde ocurrirá la mayor conectividad y uso de dispositivos IoT, por lo que sugiere que se evalúe el espectro disponible en bandas bajas (VHF).

Igualmente, **PARTNERS** indica que si bien se invita al despliegue de 5G para un uso eficiente del espectro y su acceso a las nuevas tecnologías con diferentes agentes del sector y de todos los sectores económicos del país, se espera que con el fortalecimiento de la infraestructura, el uso eficiente del espectro y la mejora en la prestación de los servicios, se podría lograr la masificación de IoT y considera que no se debe asignar espectro a todos los agentes para el uso de infraestructura, pues la explotación del espectro y la prestación de servicios de telecomunicaciones generan unos costos y cargas, no solo económicas, sino además, operativas, regulatorias, que de no hacerlo de manera planeada y lógica, puede conllevar a riesgos que de materializarse pueden tener efectos y consecuencias graves y complejas de cara a la prestación de servicios públicos esenciales.

TELEFÓNICA manifiesta que esta opción es fundamental para impulsar el desarrollo del IoT en Colombia, sin embargo, considera que el verdadero potencial del 5G está sobre las bandas medias, y no sobre las bandas altas (por encima de los 20 GHz), teniendo en cuenta el potencial social, económico y técnico de IoT con tecnologías IMT.

1.4.1.3 *Propuesta de alternativas adicionales*

TELRAD manifiesta que la banda de 2300 a 2400 MHz para 4G o LTE puede aportar la masificación de IoT, esto sumado a la posibilidad de la creación de redes privadas, dispararía la implementación inmediata de proyectos de IoT, porque es una tecnología que está lista en el mercado y con una oferta enorme de alternativas.

TIGO no considera pertinente incluir alternativas adicionales a las planteadas e indica que la normatividad actual permite el desarrollo de IoT en el país.

NOKIA manifiesta que adicional a las condiciones técnicas y normativas, se deben revisar y contemplar elementos relacionados con los extremos de la cadena de valor de las soluciones IoT, tales como el desarrollo del ecosistema

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

de dispositivos y oferta de aplicaciones o casos de uso y propone las siguientes acciones por parte del gobierno para habilitar el desarrollo del ecosistema:

- Reducción de cargas arancelarias para los chipsets, dispositivos y terminales relacionados con soluciones IoT
- Brindar beneficios o incentivos para proyectos basados en tecnologías IoT, que ayuden al desarrollo o productividad en áreas remotas y/o sectores productivos estratégicos para el desarrollo del país.
- Fomento al emprendimiento, crecimiento y masificación de la oferta de soluciones IoT.

CLARO indica que se debería adelantar la Subasta 5G en el segundo semestre de 2023 de acuerdo con el cronograma anunciado por el Mintic.

Tanto **ETB** como **COLOMBIA INTELIGENTE** y **EPM** no consideran pertinente incluir alternativas de solución adicionales a las planteadas por la ANE.

OMNISPACE considera que los esfuerzos del gobierno colombiano pueden enfocarse en la promoción de la demanda de aplicaciones de IoT, brindando todas las condiciones e incentivos necesarios para promover la implementación de las últimas aplicaciones IoT en bandas de frecuencia con o sin licencia.

PARTNERS señala que si se busca destinar un espectro para uso exclusivo de IoT, se debería evaluar el espectro disponible en bandas bajas (VHF) y considera que se debe revisar en realidad la necesidad y los cambios que se deben dar en el sector para la masificación y el fortalecimiento de IoT, en el marco de un proceso donde debe primar la reducción de la brecha digital y la eliminación de barreras para el despliegue de infraestructura; dicho proceso debe iniciar con la apropiación de las TIC en todos los sectores y ambientes del país.

TELEFÓNICA sugiere que se impulse la adopción de soluciones basadas en redes privadas virtuales de nuevas tecnologías, como el Network Slicing, y que se permitan los arrendamientos de espectro entre Operador y Vertical.

1.4.1.4 Metodología de evaluación

I. Propuesta de metodología de evaluación a aplicar

TELRAD señala que la Dynamic Spectrum Alliance (DSA) elaboró varios documentos para evaluar el impacto de la liberación del espectro en el PIB⁸ y considera que la mejor metodología que se podría utilizar para evaluar las alternativas es el multicriterio, pero basado en variables concretas.

⁸ Los documentos de la Dynamic Spectrum Alliance se encuentran en el enlace <https://www.dynamicspectrumalliance.org/>

TIGO considera que para la evaluación del AIN se debería utilizar la metodología costo beneficio.

NOKIA manifiesta que la metodología costo efectividad permitirá contar con información objetiva para la priorización de las acciones a emprender y que será importante poder definir de manera cuidadosa el resultado esperado, con base en el cual se evaluará la efectividad de cada alternativa sin restringir el análisis a los aspectos puramente técnicos y normativos.

CLARO considera que el AIN requiere un estudio con mayor profundidad, que un simple análisis multicriterio, toda vez que usualmente se apoya exclusivamente frente a las alternativas que más fueron votadas en la encuesta, pero no en el verdadero impacto que la misma puede generar. De igual forma, manifiesta que las metodologías costo efectividad y costo beneficio, monetizan versus el beneficio, sin embargo, no analizan el impacto.

Sumado a lo anterior, **CLARO** trae como referencia a: i) la OCDE que define el AIN como una herramienta que examina y cuantifica los beneficios, costos y efectos que puede generar un cambio normativo y ii) el proceso de producción normativa desarrollado por el CONPES, que incluye dos pilares, el primero enfocado en el impacto que puede tener la norma en la esfera económica y social, y/o ambiental y el segundo en la validez jurídica y finalmente, indica que es fundamental, para el sector, contar con un profundo análisis, garantizando que las alternativas que se adopten, brinden seguridad jurídica y logren contribuir al desarrollo económico y a la competitividad del sector.

ETB sugiere que la ANE realice un análisis costo beneficio, lo anterior según indica, teniendo en cuenta el documento Guía metodológica para la elaboración del AIN del Departamento Nacional de Planeación (DNP).

COLOMBIA INTELIGENTE sugiere que se utilice el análisis multicriterio, dado que esta metodología permitiría mitigar la incertidumbre respecto a la complejidad de la definición de supuestos y valores.

EPM indica que el análisis involucra diversas variables como cobertura geográfica, frecuencia y ancho de banda, además de otras variables sociales como el beneficio derivado del uso del espectro radioeléctrico, por lo que considera que la mejor opción es utilizar la metodología de análisis multicriterio.

PARTNERS considera que la metodología idónea para aplicar en el presente estudio es el análisis costo beneficio.

TELEFÓNICA considera que la mejor opción para cualquiera de los casos es el análisis costo beneficio porque se centra en la toma de decisiones basada en datos e indica que los análisis deberían incluir los beneficios percibidos por la

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

sociedad y por aquellos que destinan importantes recursos e inversiones para el desarrollo de tecnología de punta.

II. Propuesta de criterios y subcriterios a considerar en la evaluación

TELRAD sugiere tener en cuenta los criterios definidos por la DSA, que corresponden al aumento en cobertura, aumento en velocidad, aumento en aplicaciones IoT, reducción de costos, aumento AR y VR, aumento en cobertura WIFI, aumento en el enrutamiento del tráfico celular y disponibilidad de equipos.

TIGO indica que es importante que se verifiquen los beneficios de utilizar el espectro con licencias nacionales respecto a licencias regionales o locales.

NOKIA manifiesta que si bien la definición de criterios podría ser alcance de una consultoría completa propone los siguientes elementos:

- Tasas de crecimiento interanual de inversiones
- # de dispositivos importados
- % de empresas en sectores productivos con proyectos IoT
- # de conexiones IoT
- # de conexiones por segmento vertical
- # de actores en las diferentes etapas de la cadena de valor en el ecosistema

CLARO señala que es fundamental, para el sector, contar con un profundo análisis ya que el mismo proveerá información relevante y oportuna, garantizando que las alternativas que se adopten brinden seguridad jurídica y logren contribuir al desarrollo económico y a la competitividad del sector.

ETB propone los siguientes criterios:

- Costo de implementación con espectro para redes propias
- Costo de implementación con espectro para 5G.
- Estandarización de Dispositivos IoT para uso Industrial, por sectores como la agricultura, ganadería, industria, ciudades inteligentes, etc.
- Estandarización de dispositivos IoT para uso masivo en hogares
- Implementación de IoT corporativo vs implementación de IoT masivo.

COLOMBIA INTELIGENTE manifiesta que, de forma genérica se podrían considerar criterios: i) a nivel de políticas, tales como cumplimiento de metas de política pública del país; ii) económicos o financieros, como rentabilidad, VPN y TIR; iii) sociales, como bienestar, cobertura, calidad de vida, desarrollo local y equidad; iv) tecnológicos, como eficiencia, acceso y uso del espectro y diversificación; v) ambientales, como mitigación GEI y uso de suelo; y vi) legales, como competencia.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

EPM propone aplicar los siguientes criterios al momento de evaluar las alternativas:

- Soporte jurídico de la alternativa (considerar tratados internacionales, normatividad vigente y normas técnicas)
- Soporte técnico de la alternativa
- Disponibilidad de espectro, especialmente en bandas IMT
- Ámbito de cobertura geográfica de las necesidades (nacional, regional, departamental, municipal o local)
- Efecto sobre la prestación de servicios públicos esenciales
- Efecto sobre la seguridad de la vida humana
- Efecto sobre el cierre de la brecha de acceso a la tecnología
- Cantidad de espectro radioeléctrico asignada a cada sector y agente
- Equidad espectral: todos los sectores sociales y económicos tienen derecho, a acceder, usar y que les sea asignado espectro radioeléctrico
- Heterogeneidad espectral: un sistema de telecomunicaciones, visto como un todo, requiere diversas bandas de espectro para lograr la mayor eficiencia en el proceso de emisión, transmisión y recepción de información
- Complementariedad espectral: las diferentes bandas se complementan entre sí (las bandas bajas complementan a las altas y viceversa), por lo que las dos son necesarias para lograr sistemas de telecomunicaciones robustos y redundantes.

PARTNERS propone los siguientes criterios:

- Costos de implementación técnica
- Costo de cumplimiento de obligaciones
- Definición de obligaciones derivadas de la cesión o renta de espectro para IoT

III. Fuentes normativas que pueden incidir en las alternativas propuestas

TELRAD sugiere tener en cuenta los documentos elaborados por la DSA, relacionados con la evaluación de impacto de la liberación del espectro en el PIB.

TIGO considera que no hay fuentes normativas que representen trabas para el despliegue de IoT en Colombia.

NOKIA manifiesta que se debe tener en cuenta el marco normativo completo relacionado con la asignación de permisos de uso de espectro, la importación y comercialización de dispositivos electrónicos, etc.

CLARO, respecto a redes propias para empresas de servicios públicos domiciliarios, indica que se debe revisar la Constitución Política y jurisprudencia

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

de la Corte Constitucional, así como la Ley 1341 de 2009 modificada por la Ley 1978 de 2019, dado que incide de manera determinante en las causales 2, 3 y 4 propuestas por la ANE.

ETB sugiere tener en cuenta las recomendaciones y estándares de la UIT para la región 2, así como lo establecido por 3GPP, y las sugerencias de GSMA respecto al uso del espectro para IoT y trabajar de manera coordinada con la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la Comisión de Regulación de Agua potable y saneamiento (CRA) el Ministerio de Minas y Energía y la Unidad de Planeación Minero-energética (UPME).

EPM señala que a nivel internacional y nacional existen normas que sirven como fundamento para argumentar que la alternativa más eficiente, para lograr el desarrollo de un ecosistema robusto de IoT, es la de habilitar el espectro para el despliegue de redes propias, especialmente IMT y trae como referencia el reporte ITU-R SM.2351-2, donde el organismo reconoce el carácter habilitador que las redes de telecomunicaciones y las TIC tienen para las redes inteligentes y para el proceso de transformación digital de sus agentes.

A nivel nacional, mencionan: i) el documento Conpes 4075, en donde se indica que las redes inteligentes son una de las bases para el desarrollo de la transición energética y se asigna a la ANE la misión de satisfacer las necesidades de espectro del sector eléctrico; ii) la Ley 142 de 1994, que asigna el carácter de esencial a los servicios públicos domiciliarios; iii) la Ley 1715 de 2014 que hace referencia a la integración de fuentes de energía no convencionales; iv) la Ley 2099 de 2021 o ley de transformación energética; v) el documento CONPES 3918 que corresponde a la estrategia para la implementación de los ODS en Colombia; y vi) el Plan Energético Nacional 2020 – 2050.

Ahora bien, en relación con la reglamentación y la regulación hacen referencia a la Resolución MinMinas 108 de 1997, la Resolución CREG 38 de 2014, la Resolución CREG 101 001 de 2022 y la Norma Técnica Colombiana NTC 6079, que traza los requisitos para la infraestructura de medición avanzada (AMI) en redes de distribución de energía eléctrica.

PARTNERS considera que actualmente no existen en el país normativas que puedan tener incidencia en las alternativas propuestas.

TELEFÓNICA manifiesta que si hay fuentes normativas, las cuales dependen de los servicios a ofrecer y recomienda, desde el punto de vista técnico, que la ANE implemente los estándares 3GPP, como LTE-M el IoT NB.

1.4.1.5 Observaciones adicionales

TELRAD recomienda analizar la evolución que ha tenido en Estados Unidos la apertura de bandas bajo lo que denominan CBRS.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

NOKIA considera importante que se involucre a los actores del gobierno que puedan articular acciones relacionadas para allanar los aspectos de mercado que pueden actuar como inhibidores para el desarrollo del mercado IoT en Colombia, tales como la asequibilidad de dispositivos, estimular oferta y demanda y aplicaciones o casos de uso, entre otros.

EPM sugiere que las alternativas propuestas por la ANE se prioricen así:

1. Espectro para redes propias, recomendaciones para incentivar digitalización y estrategia de divulgación sobre alternativas de uso del espectro
2. Estrategia de divulgación sobre alternativas de uso del espectro y recomendaciones para incentivar la digitalización
3. Statu Quo
4. Espectro para 5G, recomendaciones para incentivar digitalización y estrategia de divulgación sobre alternativas de uso del espectro

OMNISPACE considera que la promoción del despliegue de IoT debe incluir esfuerzos transversales en las entidades gubernamentales, tales como la promoción e implementación de proyectos de infraestructura inteligente para ciudades o para todo el territorio colombiano y así facilitar e incentivar el desarrollo del ecosistema IoT en todos los sectores de la sociedad.

PARTNERS manifiesta estar de acuerdo con la ANE, respecto de la importancia de lograr y permitir que a futuro en Colombia sea una realidad la implementación de IoT, por ejemplo, con Nb-IoT y Cat-M, pues considera que estas tecnologías son relevantes para acelerar la transformación digital de las industrias verticales. Además, considera que la alternativa 2 contempla dos ejes muy importantes: i) que el gobierno incentive la digitalización de los procesos y la adopción de mecanismos de ciberseguridad en los sectores productivos y ii) la creación de un micrositio que cuente con información relevante para la implementación de soluciones IoT en el país.

De modo que es importante primero desarrollar en los sectores el sentido de apropiación y de entendimiento de los beneficios que trae IoT para cada industria y posterior a esto poder tomar medidas regulatorias y técnicas que permitan el uso eficiente del espectro y el desarrollo de IoT en el país.

Del mismo modo, **PARTNERS** considera que el espectro destinado para 5G según el estándar 3GPP (en bandas altas), no es la mejor opción para definir un segmento exclusivamente para IoT, pues si bien permite mayores velocidades de transmisión de datos, la penetración en interiores es baja e indica que las bandas bajas permiten una propagación más amplia de las señales, por lo que sugiere que, si se busca destinar un espectro para uso exclusivo de IoT, se evalué el espectro disponible en bandas bajas (VHF).

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Finalmente, manifiesta que están a la espera que el gobierno establezca los pliegos técnicos, jurídicos y económicos para el proceso de subasta de la banda 3.5 GHz la cual será la banda pionera en despliegues de redes 5G y la más apropiada para los propósitos de conectividad que apalancaran el crecimiento de la economía de diferentes sectores e industrias, asegurando lograr un bienestar social del país.

1.4.2 Conclusiones respecto de los comentarios

Una vez revisados los comentarios recibidos, se evidenció que ninguno de los agentes que participaron está de acuerdo con mantener el statu quo, sin embargo, se encontró que algunos de los participantes consideran importante contar con espectro ya sea en 4G o 5G para el desarrollo de redes privadas y de esta forma lograr la digitalización de los procesos de los sectores productivos.

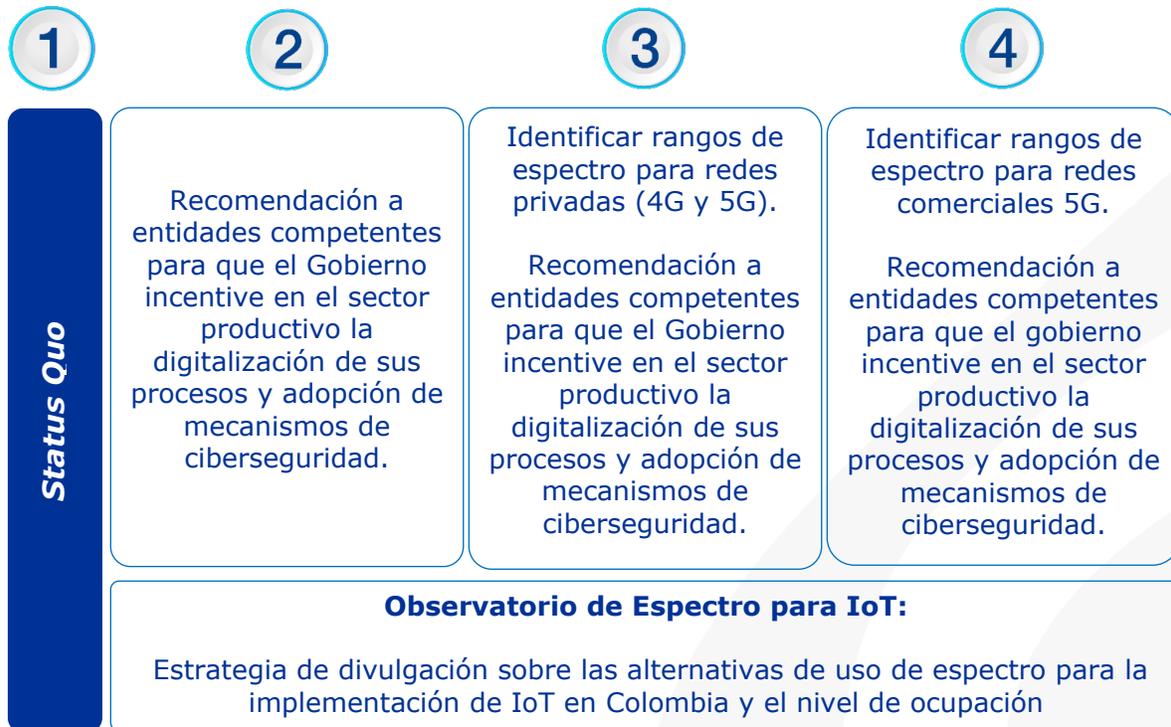
Entre tanto, otros agentes consideran que la opción más pertinente es que los PRSTM puedan acceder a espectro para redes 5G y prestar el servicio de conectividad a quienes lo requieran. Finalmente, dos agentes manifiestan que se debe contar con redes privadas y redes 5G de manera simultánea.

Por consiguiente, se considera conveniente i) no limitar las redes propias solo para la implementación de aplicaciones IoT y en cambio precisar que se trata de redes privadas que pueden hacer uso de espectro para 4G y 5G; y ii) hacer claridad respecto de las redes 5G, acotándolas a redes comerciales de dicha generación.

1.4.2.1 AJUSTE A LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A partir del análisis de la participación sectorial respecto de las alternativas de solución, la ANE considera pertinente modificar las alternativas 3 y 4 y hacer una precisión respecto de la alternativa 4, las cuales quedarán como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Alternativas de solución a evaluar



Fuente: Elaboración ANE

Al llegar a este punto, es importante precisar que para que la alternativa 4 tenga un verdadero efecto en la masificación de IoT, debe incluir un mecanismo que incentive a los asignatarios de dicho espectro a ofrecer planes de conectividad adecuados para la implementación de aplicaciones IoT.

2. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En esta sección, se presentan en primer lugar las conclusiones respecto del levantamiento de información necesaria para elegir la metodología más idónea para realizar la evaluación de dichas alternativas y en segundo lugar la evaluación de alternativas que permitirá seleccionar la más apta para resolver el problema planteado en el presente estudio.

2.1 Metodología de evaluación

En el marco del Análisis de Impacto Normativo, para la evaluación de las alternativas de solución se puede hacer uso de métodos cualitativos o cuantitativos. Los primeros se utilizan primordialmente cuando no se conocen los costos de implementar cada alternativa y por lo tanto no es posible monetizar los impactos esperados, entre tanto, con los métodos cuantitativos se pueden estimar los beneficios y los costos de implementar cada una de las alternativas de solución propuestas y los resultados se expresan en términos numéricos y/o monetarios.

En el marco del presente estudio, se consideran las metodologías de análisis multicriterio, análisis costo efectividad y análisis costo beneficio y a partir de la revisión de la información disponible se elige la metodología que permite realizar una evaluación sustentada.

La metodología de análisis multicriterio permite dar valor a los impactos mediante la fijación de distintos criterios de evaluación y realizar un análisis a partir de aspectos cualitativos y generalmente se utiliza cuando no es posible cuantificar y monetizar los impactos por falta de información [1].

Por otro lado, el análisis costo efectividad permite i) evaluar los impactos esperados de las medidas planteadas, de forma que se pueda elegir la opción que promete ser la más rentable y ii) realizar una comparación de los costos y la efectividad de las alternativas que se están analizando, para lo cual se deben estimar los costos de cada una de las opciones e identificar una medida que represente su "efectividad"; sin embargo, dicha medida no es monetizable. En esta metodología se parte de la idea de que la intervención es beneficiosa y el regulador la utilizará para saber cuál de las opciones implica menores costos para alcanzar el beneficio esperado [1].

Finalmente, en el análisis costo beneficio se deben medir los costos y los beneficios, no obstante, esta metodología es insensible a la distribución de costos y beneficios entre diferentes individuos y es la más rigurosa para la toma de decisiones dentro del AIN, pues exige la cuantificación y monetización de los costos y los beneficios que generan las alternativas regulatorias; si bien es la

más recomendable, su aplicación depende de la información disponible y de la posibilidad de cuantificar los beneficios [1].

2.2 Elección de la metodología de evaluación

Tal como se indicó anteriormente, la elección de la metodología de evaluación depende principalmente de la disponibilidad de información para monetizar los costos e impactos de cada una de las alternativas de solución, no obstante, a lo largo del desarrollo del presente estudio se ha evidenciado una falta de información sobre agentes, ingresos y utilidades del mercado de IoT en Colombia. En razón a lo anterior, se solicitó información sobre costos asociados a la implementación de aplicaciones IoT a 181 empresas identificadas como actores de la cadena de valor, obteniendo datos de solo tres (3) empresas, los cuales no tienen el grado de desagregación necesaria para asignar costos a cada uno de los elementos a considerar en la implementación de aplicaciones IoT.

Ahora bien, a partir del análisis de información disponible se evidenció que:

- I) En el caso del statu quo, alternativa que contempla el desarrollo natural del mercado, en la cual el único papel de la ANE es propiciar la interacción con los grupos de valor en aras de identificar necesidades respecto de la gestión del espectro radioeléctrico y, donde, de acuerdo con la metodología, se deben tener en cuenta los costos de implementar una solución IoT en las condiciones actuales y los asociados a los espacios de interacción suministrados por la ANE; solo existe información respecto de algunas soluciones implementadas⁹ en espectro no licenciado y ofertas de soluciones que si bien hacen uso de espectro licenciado, toman la conectividad de un plan de datos convencional y no de un plan de datos exclusivo para IoT.

El uso de espectro no licenciado no requiere la asignación de este recurso, pero se deben cumplir las condiciones técnicas establecidas en la normatividad vigente, por lo que no existen costos asociados a la asignación y explotación del espectro radioeléctrico, así las cosas, solo se deben considerar los costos correspondientes al despliegue de redes. En el caso del uso de espectro licenciado, para proveer la conectividad se requiere ser asignatario de este recurso, por lo que es necesario tener en cuenta los costos de asignación, los costos por contraprestaciones correspondientes a la explotación del espectro asignado y los asociados al despliegue de redes. No obstante, no se puede imputar el total de dichos costos a la implementación de aplicaciones IoT, toda vez que la asignación de espectro se realiza a nivel nacional y su explotación corresponde a la prestación de

⁹ Del universo de proveedores de soluciones IoT que existen en el país, solo se obtuvo información de costos de algunos agentes.

servicios móviles tradicionales (voz y datos) y solo una pequeña parte de los planes de datos podría estar siendo utilizada para dichas soluciones.

Por otra parte, dentro de los beneficios de mantener el Statu quo, se puede incluir el hecho de que la oferta del mercado se movilizaría a partir de la demanda de soluciones IoT; los asociados a la interacción de la ANE con los grupos de valor, pues gracias a dichos espacios se cuenta con información sobre necesidades de gestión de espectro y; los correspondientes al uso actual de espectro para IoT. Sin embargo, no es posible monetizar dichos beneficios toda vez que los movimientos del mercado son inciertos, no se cuenta con información sobre el número de aplicaciones implementadas en el país y respecto del número de dispositivos IoT conectados a las redes de comunicaciones de los PRSTM, no se tienen cifras actualizadas o no se puede identificar con precisión cuáles corresponden exclusivamente a dispositivos IoT.

- II) Frente a la creación de un observatorio de espectro para IoT se deben contemplar los costos que implica la creación e implementación de un micrositio, los cuales incluyen el diseño, desarrollo, pruebas y puesta en producción de este, así como los asociados a su alojamiento y mantenimiento. Además, se deben contemplar los costos asociados a disponer de la información de dispositivos IoT y los correspondientes a la obtención de la información del nivel de ocupación de las bandas de frecuencia de uso no licenciado que son de interés en el presente estudio, pero no se cuenta con estos datos.

Ahora bien, los beneficios para tener en cuenta corresponden a la disminución del desconocimiento que se daría a partir de la estrategia de divulgación de información, la cual estaría relacionada con las visitas al observatorio de espectro y el correspondiente incremento de aplicaciones IoT implementadas en el país, los cuales no se pueden monetizar dado que no se tienen mediciones de referencia.

- III) Respecto de la presentación de recomendaciones a entidades competentes para incentivar la digitalización de los sectores económicos del país y la implementación de medidas de ciberseguridad en las soluciones de IoT, se deben considerar los costos correspondientes a los recursos utilizados para la definición y socialización de dichas recomendaciones.

Entre tanto, los beneficios se podrían medir a través del incremento en el nivel de apropiación de las tecnologías de la información para la digitalización de los sectores productivos del país, así como en la implementación de medidas de ciberseguridad y en el incremento de soluciones IoT. Al igual que en el caso anterior, al no tener datos de referencia no es posible monetizar los beneficios correspondientes.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

- IV) En relación con la identificación de espectro para redes privadas (4G y 5G) se espera que las empresas de sectores productivos puedan ser asignatarios de este recurso, por lo que se deben considerar dichos costos, los cuales dependen de la valoración que se realice a la banda de espectro considerada como la más idónea para el desarrollo de este tipo de redes. Cabe precisar que aún no se ha identificado una banda de frecuencias para este propósito y no existe normatividad al respecto, razón por la cual se tendría que tomar como referencia la valoración de asignaciones de espectro realizadas en el pasado, lo que conlleva a realizar un primer supuesto, es decir, que el valor del espectro identificado para redes privadas sería comparable con el determinado en dichas ocasiones.

Asimismo, se deben considerar los costos asociados a: i) el despliegue de redes privadas por parte de las empresas que se conviertan en asignatarios de espectro radioeléctrico identificado para tal fin y ii) la implementación de aplicaciones IoT que contribuyan a su transformación digital, pero no se cuenta con dicha información, por lo que para el primer caso se podría tomar como referencia la información de costos derivados de los despliegues de redes IMT, que al estar relacionada con el despliegue de redes para la prestación de servicios a terceros incluyen economías de escala, y además, las necesidades que satisfacen estas redes no necesariamente son comparables con las redes privadas.

Ahora bien, los beneficios de contar con espectro radioeléctrico para el desarrollo de redes privadas están relacionados con el incremento en el número de aplicaciones IoT implementadas por empresas de los sectores productivos y la correspondiente digitalización de sus procesos, sin embargo, no se cuenta con información de referencia que permita monetizar los beneficios que traería la disponibilidad de este recurso y;

- V) En el caso de la identificación de espectro para redes comerciales 5G se espera que el mismo sea asignado de forma que se cuente con espectro suficiente para implementar aplicaciones IoT, es por esto por lo que, se deben contemplar los costos asociados a la asignación y explotación de este recurso, así como los correspondientes al despliegue de redes y a la implementación de soluciones IoT. En este caso se puede tomar como referencia los datos de las asignaciones de espectro IMT realizadas en el pasado, los valores de las contraprestaciones periódicas y la información de costos correspondientes a despliegue de redes IMT existentes, no obstante, como se indicó con anterioridad, no se puede imputar la totalidad de dichos costos a la implementación de aplicaciones IoT y no existe información desagregada que permita estimar los costos reales asociados a IoT, por consiguiente, en el caso de la implementación de soluciones IoT en 5G, no se cuenta con información que permita monetizar los costos.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Por su parte, contar con espectro para redes comerciales 5G traería como beneficio el incremento de aplicaciones IoT implementadas haciendo uso de la conectividad que suministrarán dichas redes, el incremento en el grado de masificación de IoT en el país y la implementación de aplicaciones de misión crítica, aunque no se cuenta con mediciones de referencia que permitan monetizar el beneficio y además, el impacto de 5G solamente se podría medir una vez se lleve a cabo la asignación de espectro para este tipo de redes, se realice el despliegue de las mismas y se garantice conectividad adecuada para IoT.

Así pues, es claro que hay falencias de información; en relación con los costos, en algunos casos no son comparables o se requiere realizar demasiados supuestos o su desagregación no permite identificar los correspondientes a la implementación de soluciones IoT, razón por la cual no es posible monetizar los costos ni determinar la efectividad de cada una de las alternativas de solución. Adicionalmente, no se cuenta con información sobre cambios de precios y cantidades históricas ni proyectadas, ingresos y utilidades de las empresas, y uso de aplicaciones, entre otros aspectos, elementos esenciales para monetizar los beneficios.

Dado lo anterior, para el presente estudio, la ANE considera necesario aplicar el análisis multicriterio en la evaluación de alternativas de solución, metodología que se explica en el anexo 1 del presente documento.

Esta metodología permite evaluar simultáneamente cada una de las alternativas desde diferentes tópicos con el objetivo de tener los diferentes ángulos en los cuales impactará su implementación. Así mismo, al evaluar las alternativas con relación a los diferentes criterios permite valorar de forma cualitativa y/o cuantitativa, el costo de oportunidad de llevar a cabo una alternativa con relación al conjunto de alternativas propuestas.

Ahora bien, una de las características de esta metodología es su flexibilidad en el momento de realizar los análisis de la evaluación de los criterios definidos frente a cada alternativa ya que estos pueden ser cualitativos y/o cuantitativos en función de la accesibilidad y disponibilidad de la información. En detalle, para este análisis de impacto normativo se opta por la cuantificación de los criterios a través de la construcción de un conjunto de subcriterios, en el entendido que cada criterio representa un tópico global de impacto de cada alternativa agrupando subcriterios que caracterizarán la eficacia de cada alternativa con relación a cada criterio.

En este sentido, la alternativa que cuente con un mayor número de subcriterios por cada criterio representará una alternativa más eficaz al proporcionar un menor costo de oportunidad. Al tener la alternativa más eficiente por cada criterio se realiza el ejercicio de una suma ponderada cuyos ponderadores son

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

producto de la consulta de importancia relativa de criterios a expertos del tema. Es importante mencionar, que el resultado de la suma del subcriterio es normalizado en función de la escala de Likert⁹ definida en la metodología de análisis multicriterio.

Por tanto, en el presente estudio las características de desarrollo de cada alternativa son plasmadas en los subcriterios que conforman cada criterio, la ausencia o presencia de éstos permiten cuantificar la alternativa a través de las sumas ponderadas de cada alternativa por cada criterio y a posteriori entre alternativas con el fin de emplear un método cuantitativo en el uso de la metodología de análisis multicriterio.

En suma, la alternativa que obtiene el mejor resultado en el ejercicio será aquella que tiene mayor eficacia en resolver el problema planteado y por ende será la alternativa ganadora. Adicionalmente, esta cuantificación de criterios mediante el uso de subcriterios facilita la corrección de los sesgos de evaluación subjetiva de alternativas que es identificado como una de las desventajas de la metodología.

Por consiguiente, a continuación se presentan los criterios y subcriterios definidos para tal fin.

2.3 Criterios de evaluación

A partir de los comentarios recibidos respecto de la identificación de alternativas de solución, así como de la revisión de información respecto de aspectos para tener en cuenta en la evaluación de las alternativas de solución, se definieron los criterios que se presentan a continuación.

Tabla 2. Criterios de evaluación

	1	2	3	4	5	6
Temática	Económica	Social	Tecnológica	Jurídica	Tecnológica	Ambiental
Criterio	Costo de inversiones y oportunidad	Conectividad para redes IoT - Disponibilidad del servicio	Acceso y uso de espectro - Masificación de IoT	Información y condiciones claras para el desarrollo y uso de IoT	Grado de desarrollo en la implementación de aplicaciones IoT	Uso de energía

Fuente: Elaboración ANE

1. *Costo de inversiones y oportunidad*: Incluye los costos asociados a la asignación de espectro radioeléctrico y los relacionados con el despliegue de

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

infraestructura y se mide como el nivel de requerimientos de infraestructura, administrativos y de asignación de espectro de cada una de las alternativas

2. *Conectividad para redes IoT - Disponibilidad del servicio:* La conectividad es esencial para impulsar la masificación de IoT en el país, por lo que este criterio se mide como el posible incremento de la conectividad a través de la disponibilidad del servicio de datos para la implementación de aplicaciones IoT.
3. *Acceso y uso de espectro - Masificación de IoT:* El acceso y uso del espectro radioeléctrico está relacionado con las tecnologías utilizadas en la implementación de soluciones IoT, por consiguiente, con este criterio se busca identificar un posible incremento en el acceso y uso del espectro, mediante la disponibilidad de dispositivos para la implementación de estas soluciones.
4. *Información y condiciones claras para el desarrollo y uso de IoT:* En el marco del presente estudio se ha evidenciado desconocimiento por parte de algunos agentes sobre las posibilidades que ofrece IoT y el uso que se le puede dar al espectro disponible para apalancar la conectividad de este tipo de soluciones, razón por la cual se espera que la alternativa ganadora permita mejorar el conocimiento de dichos actores.
5. *Grado de desarrollo en la implementación de aplicaciones IoT:* En la implementación de soluciones IoT es importante considerar el desarrollo de aplicaciones, así como el uso de analítica, computación de borde¹⁰ o en la nube¹¹ y demás elementos necesarios para la masificación de estas soluciones, por lo que este criterio permitiría analizar la promoción del desarrollo de estos elementos.
6. *Uso de energía:* Con la masificación de IoT se prevé un incremento en el número de dispositivos que requieren consumir energía para su funcionamiento, lo que va aunado con el cuidado del medio ambiente. Por tanto, este criterio busca revisar el grado de uso energético de cada alternativa.

¹⁰ La computación de borde o frontera se refiere al procesamiento, análisis y almacenamiento de datos cerca al sitio dónde se generan a fin de permitir el análisis y la respuesta rápidos y casi en tiempo real.

¹¹ La computación en la nube consiste en el almacenamiento, procesamiento y la distribución de datos, aplicaciones y servicios para los usuarios. [45]

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

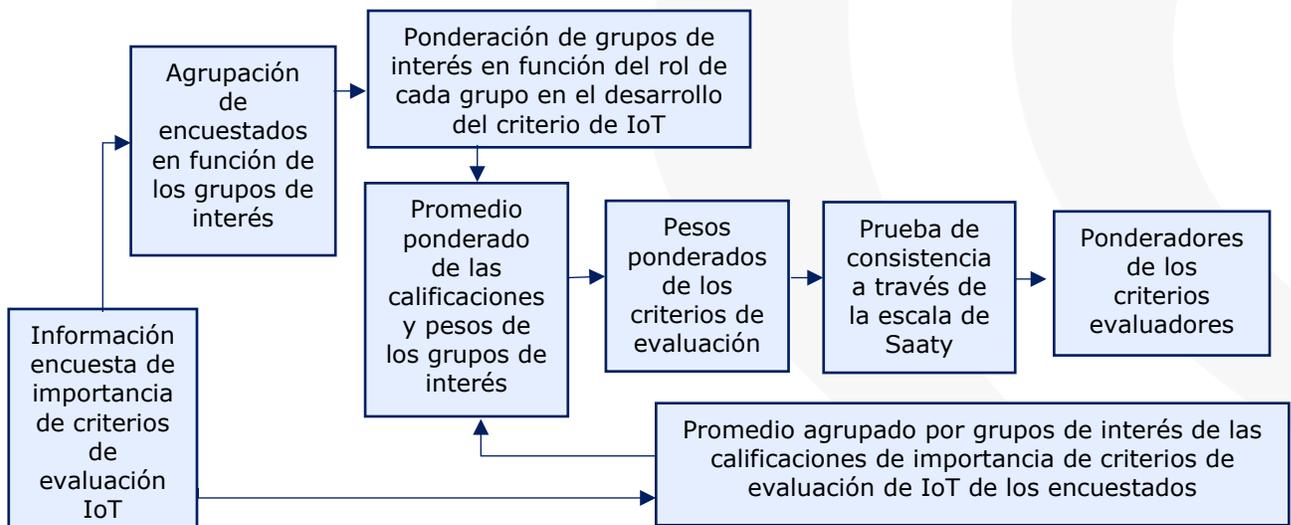
Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

2.4 Desarrollo de la evaluación

Teniendo en cuenta la importancia de la participación de los agentes de la cadena de valor de IoT en la aplicación de la metodología AIN, se socializaron los criterios definidos¹² y se creó un formulario para que dichos agentes calificaran los criterios considerando la importancia relativa entre ellos (criterio "X" versus criterio "Y"). En total, se obtuvieron 16 calificaciones, que corresponden a PRST, proveedores de equipos y soluciones, prestadores de servicios públicos domiciliarios, operadores de redes de telecomunicaciones propias, habilitadores, Gobierno¹³ y Academia.

Con base en los resultados de la encuesta se realizó el procesamiento de la información con el fin de obtener los pesos ponderadores de los criterios de evaluación, proceso que se presenta en la Figura 4. Primero, se realizó una clasificación por grupos de interés estableciendo un ponderador por cada criterio evaluado en función del rol que desempeñan en la implementación de IoT y luego se obtuvo el promedio de las calificaciones de los encuestados agrupados en función de cada grupo de interés. Finalmente, se fusionaron los dos resultados a través de un promedio ponderado de las calificaciones, a los cuales se les ha aplicado una prueba de consistencia, haciendo uso de la escala de Saaty.

Figura 4 Cálculo de las ponderaciones de los criterios de evaluación



Fuente: Elaboración ANE

¹² Con los agentes de valor se llevó a cabo a un webinar el día 30 de marzo de 2023.

¹³ En este grupo se encuentran los 8 expertos de la ANE que realizaron la encuesta

A partir de estas calificaciones y tomando como referencia el peso que tienen dichos agentes en la cadena de valor, así como su relación con los criterios de evaluación definidos (ver anexo 2 y anexo 3), se obtuvieron los ponderadores que se observan en la Figura 5, los cuales serán usados en la evaluación de las alternativas de solución propuestas.

Figura 5 Ponderadores de los criterios de evaluación



Fuente: Elaboración ANE

2.4.1 Cuantificación de los criterios

Una vez obtenidos los ponderadores de los criterios, y tal como se indicó previamente, en aras de que: i) el ejercicio de evaluación de alternativas de solución sea lo más objetivo posible y ii) dar un valor a la relación entre la alternativa de solución y el criterio, se consideró pertinente cuantificar los criterios, para lo cual se definieron subcriterios y se seleccionaron aquellos que aplican a cada una de las alternativas, obteniendo así la calificación respectiva.

Para la calificación de los subcriterios es importante tener presente que existe transversalidad en las alternativas de solución, por lo cual, adicional a las nuevas opciones de uso de espectro también se podrá hacer uso del espectro disponible tanto en espectro licenciado como en espectro no licenciado.

Los subcriterios definidos son:

2.4.1.1 Costo de inversiones y oportunidad:

Los costos son considerados como uno de los aspectos primordiales para tener en cuenta en la implementación y masificación de aplicaciones IoT. Tal como se indicó previamente dentro de este criterio se incluyen los costos asociados a la asignación de espectro radioeléctrico, así como los relacionados con el

despliegue de infraestructura, elementos esenciales para apalancar la conectividad requerida para la implementación de dichas aplicaciones.

Los costos de inversión son todos aquellos costos que se dan desde la concepción de la idea que da origen a un proyecto hasta poco antes de la producción del primer producto o servicio, en este caso corresponden a los gastos en que se incurre para la implementación de una solución IoT, que incluye de manera general, y tomando como referencia la cadena de valor definida en el documento de formulación del problema, los dispositivos, las aplicaciones y la conectividad; entre tanto, los costos de oportunidad *"corresponden al coste de las oportunidades que se pierden cuando un agente no utiliza los recursos para el fin para el que tienen más valor"* [8]

Por tanto, el costo de oportunidad en IoT se refiere a los beneficios que pudieron haber sido obtenidos por escoger alguna otra acción en vez de implementar las soluciones de IoT, los cuales con el paso del tiempo se verán reflejados no solo en términos económicos sino en pérdida de competitividad y oportunidad de generar valor agregado. Estos costos se ven reflejados en la falta de digitalización de los sectores, en el aumento de la brecha digital y en la baja implementación de soluciones IoT en el país.

Teniendo en cuenta que este criterio se mide como el nivel de requerimientos de infraestructura, administrativos y de asignación de espectro de cada una de las alternativas para la implementación de soluciones IoT, se definieron doce (12) subcriterios de igual importancia, a saber:

1. Requiere despliegue de red en espectro no licenciado

Lograr la digitalización de los diferentes sectores de la economía del país depende de la accesibilidad a los servicios TIC, en el caso particular de IoT se hace referencia al servicio de internet, toda vez que el mismo permite suministrar la conectividad necesaria para los dispositivos y sensores que hacen parte de cada solución, razón por la cual se requiere el despliegue de una red de comunicaciones, que incluye la red de acceso y la red de transporte. En el caso de redes que hacen uso de espectro no licenciado, generalmente su cobertura es local o regional.

2. Requiere despliegue de red en espectro licenciado

El servicio de internet suministrado por los proveedores de redes de comunicaciones puede prestarse a través de las redes de comunicaciones ya desplegadas por dichos agentes, no obstante, en el caso de 5G o del ingreso de nuevos proveedores de red, será necesario realizar el despliegue correspondiente.

3. Requiere implementar CORE

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

El CORE es la parte central de la red de comunicaciones, pues se encarga de procesar, enrutar y gestionar el tráfico en una red de comunicaciones; su función principal es asegurar una comunicación eficiente y confiable entre los diferentes nodos de la red, está constituido por enrutadores y switches, y requiere protocolos de enrutamiento, sistemas de conmutación y señalización, contar con redundancia, alta disponibilidad, seguridad y autenticación.

4. Requiere asignación de espectro

Tal como se ha indicado, IoT se puede implementar gracias a la conectividad inalámbrica suministrada por redes de comunicaciones que pueden hacer uso de espectro no licenciado o espectro licenciado, en el segundo caso es necesario que el proveedor de red sea asignatario de espectro, de conformidad con las disposiciones contenidas en el artículo 11 de la Ley 1341 de 2009, modificado por el artículo 8 de la Ley 1978 de 2019, en donde se indica que el uso del espectro radioeléctrico requiere permiso previo, expreso y otorgado por el Mintic.

5. Requiere pago de contraprestación periódica

De conformidad con el artículo 10 de la Ley 1341 de 2009, modificado por el artículo 7 de la Ley 1978 de 2019, la provisión de redes y servicios de telecomunicaciones se habilita de manera general, y causará una contraprestación periódica a favor del Fondo Único de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, en consecuencia, quienes provean el servicio de internet a terceros, son sujetos obligados al pago de dicha contraprestación.

6. Requiere adquisición de equipos por parte del usuario de la solución

Teniendo en cuenta la cadena de valor de IoT, presentada en el documento de formulación del problema y objetivos¹⁴, para la implementación de una solución IoT se requiere de dispositivos, conectividad y aplicaciones; dentro de los dispositivos se incluyen todos los elementos de hardware requeridos (sensores, dispositivos IoT y otros equipos), los cuales en algunos casos deben ser adquiridos por el usuario de la solución, tal es el caso de las soluciones de domótica, donde el usuario adquiere los dispositivos y usa la conectividad con que cuenta en el hogar.

7. Requiere adquisición de plataforma para gestión de datos

Para la implementación de un hogar inteligente no solo se requiere contar con electrodomésticos y dispositivos inteligentes, pues es necesario tener una

¹⁴ Disponible en el enlace
<https://www.ane.gov.co/SitePages/Gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/index.aspx?p=3891>

plataforma que permita gestionar dichos dispositivos, por lo que en el mercado existen muchas aplicaciones gratis que permiten realizar esta tarea; no obstante en casos de uso especiales o desarrollados a la medida es necesario adquirir una plataforma o aplicación especial para hacer seguimiento al comportamiento de las variables que se miden y gestionar los diferentes dispositivos, en caso de que los procesos estén automatizados.

8. Requiere adquisición de capacidad de almacenamiento

Tal como se indicó en el documento de formulación del problema y objetivos del presente estudio¹⁵, un elemento esencial de IoT es la información que se genera, ya sea para la gestión automatizada de dispositivos o para la toma de decisiones al interior de las empresas; en definitiva se espera que gracias a la implementación y masificación de soluciones IoT en el país se genere gran cantidad de información que deberá ser almacenada para su respectivo procesamiento y análisis, lo que implica que se requiera capacidad de almacenamiento.

9. Requiere mayor capacidad de analítica de datos

En línea con el subcriterio anterior, es importante resaltar que entre mayor sea la cantidad de información generada por los dispositivos en el marco de una masificación de IoT en el país, mayores serán los requerimientos respecto de la capacidad de analítica de datos, entendida esta como un proceso en el que se recopila, procesa, analiza y aprovechan los datos, ya sea para la toma de decisiones o para conocer el comportamiento de una o más variables.

10. Amplia la brecha de adopción tecnológica de las empresas (Conpes 4085)

Para lograr la transformación digital de los sectores productivos del país se requiere la adopción de tecnologías, no obstante, en el diagnóstico realizado en el marco de la Política de internacionalización para el desarrollo productivo regional, se evidenció que: i) el nivel de adopción de tecnología de las empresas colombianas es bajo, pues internet se usa principalmente para enviar correos electrónicos y buscar información; ii) las empresas no son conscientes de sus brechas gerenciales y tecnológicas, pues muchos emprendimientos carecen de habilidades para identificar nuevas oportunidades tecnológicas; iii) existe baja capacidad e inversión para adoptar y transferir conocimiento y tecnología; iv) existen falencias en las empresas colombianas respecto de su capacidad de adopción de tecnologías existentes y probadas para incrementar su productividad [9].

¹⁵ El documento de formulación del problema y objetivos puede ser consultado en el enlace <https://www.ane.gov.co/SitePages/Gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/index.aspx?p=3891>.

De ahí que, el rezago tecnológico de Colombia con sus pares debe abordarse desde una perspectiva región-nación, de manera que se tenga en cuenta la heterogeneidad en las problemáticas, necesidades y capacidades institucionales de los departamentos.

11.No promueve la masificación de IoT

Tal como se ha indicado a lo largo del desarrollo del presente estudio, se espera una masificación de IoT a nivel mundial, no obstante, se ha evidenciado que existe un gran rezago en la implementación de soluciones IoT en Colombia¹⁶, por lo que se considera necesario poner a disposición de los agentes interesados, las herramientas necesarias para lograr dicha masificación.

12.No promueve digitalización de sectores

Una manera de impulsar la masificación de IoT en el país es lograr la digitalización de los diferentes sectores productivos y más aun teniendo en cuenta las múltiples aplicaciones existentes en el mercado, las necesidades manifestadas por agentes de algunos sectores productivos como por ejemplo energía y, considerando el papel de la transformación digital de dichos sectores en la mejora de la productividad de las pequeñas y medianas empresas, lo que se espera redunde en el crecimiento del ingreso per cápita del país y de la región.

De acuerdo con el documento "*Estrategia para la transformación digital de los sectores productivos en América Latina*", en Latinoamérica existe una brecha en relación con la productividad, lo que conlleva a un estancamiento en el crecimiento del ingreso per cápita. En dicho documento también se plantea que, para lograr la transformación digital de los sectores productivos, los gobiernos se deben enfocar en: i) el desarrollo de actividades innovadoras en torno a tecnologías como IoT, computación en la nube, tecnologías de fabricación personalizada y analítica de datos y ii) la adopción de estas soluciones por parte de las empresas, especialmente en las pymes [10].

Así las cosas, si bien no fue posible monetizar los costos, con la cuantificación de este criterio se busca identificar la alternativa que implica menores requerimientos para lograr impulsar la masificación de IoT en el país. Dicha cuantificación se presenta en la Tabla 3.

¹⁶ De acuerdo con la OCDE, el único país de América que aparece en el top 10 de los países con dispositivos IoT en línea es Estados Unidos, entre tanto y en cuanto a conexiones M2M a través de redes móviles, Estados Unidos ocupa el puesto 9, Chile y México los puestos 31 y 32 respectivamente [40].

Tabla 3. Cuantificación del criterio de costos de inversiones y oportunidad

Subcriterios relacionados con los costos de inversiones y oportunidad		Alternativa			
		1	2	3	4
1.	Requiere despliegue de red en espectro no licenciado.	0	1	1	1
2.	Requiere despliegue de red en espectro licenciado.	0	0	1	1
3.	Requiere implementar CORE.	0	0	1	1
4.	Requiere asignación de espectro	0	0	1	1
5.	Requiere pago de nuevas contraprestaciones periódicas.	0	0	0	1
6.	Requiere adquisición de equipos por parte del usuario de la solución.	0	1	1	1
7.	Requiere adquisición de plataforma para gestión de datos.	0	1	1	1
8.	Requiere adquisición de capacidad de almacenamiento.	0	1	1	1
9.	Requiere mayor capacidad de analítica de datos.	0	0	1	1
10.	Amplia la brecha de adopción tecnológica de las empresas (Conpes 4085).	1	0	0	0
11.	No promueve la masificación de IoT.	1	0	0	0
12.	No promueve digitalización de sectores.	1	0	0	0
Sumatoria de presencia de subcriterios por cada alternativa		3	4	8	9
Total (Normalizado a escala de 5 a 0)		1,25	1,66	3,33	3,75
Valores inversos sobre el total		3,75	3,33	1,66	1,25

Fuente: Elaboración ANE

Considerando que la alternativa que tiene mayores requerimientos implica mayores costos, se toman los valores inversos para determinar la alternativa que tiene mejor desempeño; aplicado este método de evaluación, se evidencia que la alternativa 4, con un puntaje de 1,25, es la que representa mayores requerimientos y costos para el despliegue de una red bajo estándares de tecnologías móviles 5G, la cual, conforme con los aspectos técnicos que ofrece esta tecnología podría promover la digitalización de los sectores productivos y la

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

masificación de IoT en el país. En segundo lugar, se ubica la alternativa 3 con un puntaje de 1,66, que conforme con lo expresado puede ser implementada bajo estándares de tecnologías móviles 4G, disminuyendo en cierto margen los requerimientos y costos respecto de la alternativa ganadora.

Respecto de la alternativa 2, con un puntaje de 3,33, representa menores requerimientos y costos para el despliegue de una red en comparación con las alternativas 3 y 4, esto debido a que, la propuesta central de esta alternativa es la de brindar recomendaciones y suministrar información sobre usos alternativos del espectro que permitan la apropiación de soluciones IoT en el país; por último, se encuentra la alternativa 1 con un puntaje de 3,75, que a pesar de no promover la masificación de IoT y conservar el statu quo, es la que resulta más llamativa en materia de costos de oportunidad e inversión porque tiene menos requerimientos en cuanto a despliegue de red y asignación de espectro.

2.4.1.2 *Conectividad para redes IoT - Disponibilidad del servicio*

En línea con la definición de la cadena de valor de IoT, incluida en la sección 4.2.3 del documento de formulación del problema y objetivos del presente estudio¹⁷, se consideró pertinente incluir un criterio que permita medir la disponibilidad del servicio de datos para impulsar la masificación de IoT, en atención a que la conectividad es un elemento esencial para la implementación de este tipo de soluciones, entendida esta como la capacidad de establecer una comunicación o crear un vínculo entre diferentes dispositivos haciendo uso de cables o de manera inalámbrica, con el fin de intercambiar información.

Por tanto, la alternativa que tiene mejor desempeño es aquella que incrementa la conectividad y promueve la implementación de aplicaciones IoT. Para realizar el ejercicio de cuantificación de este criterio, se definieron doce (12) subcriterios de igual importancia, los cuales se explican a continuación:

1. Incrementa las ofertas de conectividad para soluciones IoT en espectro no licenciado

Dado que la conectividad es parte esencial en la cadena de valor de IoT, se espera que con el incremento de ofertas de conectividad se impulse la implementación de soluciones, que mejoren los procesos productivos y la calidad de vida de los habitantes. Ahora bien, en el caso de espectro no licenciado dichas ofertas se pueden dar a través de i) la construcción de redes privadas para

¹⁷ El documento de formulación del problema y objetivos se encuentra en el enlace <https://www.ane.gov.co/Sliders/archivos/gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/Estudios%20de%20gesti%C3%B3n%20y%20planeaci%C3%B3n/Espectro%20para%20IoT/Documentos%20para%20consulta/DocumentoEspectroIoT.pdf>.

atender necesidades específicas y ii) a través de ofertas de planes de datos soportados en redes desplegadas en algunas regiones del país.

2. Incrementa las ofertas de planes de datos en IMT para soluciones IoT

Tal como se ha indicado en varias oportunidades, a través de redes soportadas en espectro licenciado, se podría ofrecer conectividad a empresas y a sectores productivos que tienen necesidades particulares, un ejemplo de ello es el uso de redes LTE para ofrecer conectividad NB-IoT o M-LTE. El IoT de banda estrecha o NB-IoT se basa en la utilización de redes móviles celulares, podría desplegarse directamente en redes GSM, UMTS o LTE y requiere un ancho de banda de 180 kHz [11]; por su parte LTE-M, también conocida por CAT-M1, utiliza las redes móviles celulares, permite comunicaciones de voz y su ancho de banda es de 1,4 MHz.

No obstante, en el marco del presente estudio se ha evidenciado que no existen ofertas de servicios de datos exclusivas para la implementación de soluciones IoT.

3. Incentiva ampliación de cobertura IMT

Si bien ya existen redes IMT mediante las cuales se pueden ofrecer servicios de datos para apalancar la conectividad de soluciones IoT, en algunos casos puede ser necesario ampliar la cobertura de este tipo de redes. Actualmente existe 100% de cobertura en las cabeceras municipales del país, incluidas las redes 2G, 3G y 4G, no obstante, en las zonas rurales la cobertura es mucho menor o nula.

4. Disponibilidad de cobertura de redes en espectro no licenciado

A partir de las reuniones con algunos proveedores de soluciones IoT en el país, llevadas a cabo en el marco de la construcción del documento de formulación del problema y objetivos del presente estudio, se evidenció que la cobertura de redes que hacen uso de espectro no licenciado corresponde principalmente a redes privadas desplegadas para la implementación de soluciones particulares, así mismo, se evidenció que existe cobertura a nivel de algunas regiones, con redes SIGFOX.

5. Disponibilidad de cobertura de redes en espectro licenciado

De acuerdo con la información disponible en el Visor de espectro de la ANE¹⁸, actualmente existe despliegue de redes móviles 4G, tanto en la zona urbana

¹⁸ Información consultada el 9 de junio de 2023

como en la zona rural de 694 municipios del país, lo que implica que se podrían implementar aplicaciones IoT en dichos municipios.

6. Promueve el desarrollo de redes privadas en espectro no licenciado

En el caso de soluciones IoT particulares o a la medida que hacen uso de tecnologías como SigFox, LoRa, ZigBee, Z-Wave y Wifi, implementadas en lugares donde no se tiene acceso a un servicio de internet que pueda suministrar la conectividad necesaria para tal fin, los proveedores de dichas soluciones instalan una red de comunicaciones privada que garantice la conectividad requerida haciendo uso de espectro no licenciado. En la medida en que se incrementa la implementación de soluciones en lugares donde no es posible acceder a un servicio de internet adecuado, será necesario desarrollar redes de comunicaciones privadas para el correcto funcionamiento de las aplicaciones IoT.

7. Promueve el desarrollo de redes privadas en espectro licenciado

Respecto de aplicaciones de misión crítica, generalmente asociadas con la prestación de servicios públicos y con algunos procesos industriales, es importante considerar que en el marco de la construcción del Plan Maestro de Gestión de Espectro (PMGE) a 5 años, agentes de diferentes sectores productivos manifestaron que las condiciones de calidad, ofrecidas por las redes de comunicaciones de los proveedores tradicionales, no son suficientes para la digitalización de sus procesos y por ende para la implementación de soluciones IoT, razón por la cual han solicitado la asignación de espectro para el desarrollo de redes privadas.

Lo anterior, teniendo en cuenta que las redes de comunicaciones privadas son infraestructuras dedicadas que pueden ser utilizadas por las empresas para cubrir sus necesidades y que con dichas redes se tendría mayor seguridad y control sobre la infraestructura de comunicaciones, mayores capacidades, menores interferencias y se puede garantizar un servicio confiable.

8. Promueve el desarrollo de Ciudades y territorios inteligentes

De acuerdo con lo señalado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que utiliza las TIC para mejorar la calidad de vida de las personas, la eficiencia de las operaciones y los servicios urbanos y la competitividad, al tiempo que satisface las necesidades económicas, sociales, medioambientales y culturales de las generaciones presentes y futuras; además dicha organización indica que el desarrollo de comunidades rurales inteligentes y sostenibles puede contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas [12].

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

De otra parte, CINTEL indica que una ciudad se considera inteligente cuando adopta soluciones intensivas en TIC, y desarrolla la capacidad de crear, recopilar, procesar y transformar la información para hacer sus procesos y servicios mejores y más eficientes, lo que permite mejorar la calidad de vida de los habitantes; aumentar la eficiencia de los procesos y la facilidad en el uso de los servicios; crear, recopilar, procesar y transformar la información que genera la ciudad; usar la información para la toma de decisiones; incrementar la eficacia en el uso de los recursos productivos; mejorar la sostenibilidad y competitividad; responder a nuevas necesidades que generan los habitantes; e identificar y/o priorizar oportunidades de desarrollo para el sector privado, por medio de información de servicios y aplicaciones, infraestructura y gestión [13].

Por consiguiente, la implementación de soluciones IoT para la gestión del tráfico, de los servicios públicos y del aire entre otras cosas, contribuye en gran medida al desarrollo de ciudades y territorios inteligentes.

9. Promueve el desarrollo de IoT crítico

El IoT crítico hace referencia a aquellas aplicaciones que son de vital importancia para garantizar la seguridad, proteger la salud, la infraestructura o cualquier otro ámbito en el cual el mal funcionamiento o la interrupción del servicio ocasione problemas o situaciones críticas como pérdida de vidas, daños a la infraestructura, violación de la seguridad o pérdidas financieras significativas. En este contexto la conectividad y la interacción entre dispositivos y sistemas desempeñan un papel fundamental en la gestión de recursos físicos y digitales para lograr el correcto funcionamiento de los procesos.

Dentro de las aplicaciones de IoT crítico se encuentran el monitoreo remoto de pacientes, los sistemas de atención médica en tiempo real, las ciudades inteligentes, los sistemas de transporte inteligente, las redes eléctricas inteligentes, la gestión de agua y alcantarillado, los sistemas de seguridad, los sistemas de detección y respuesta de emergencia, los sistemas de control y monitoreo de procesos industriales, el control de generación y distribución de energía y la gestión de recursos naturales, entre otros.

Por tanto, las soluciones de IoT crítico requieren de seguridad, redundancia, resiliencia y de gran capacidad de respuesta para garantizar su funcionamiento confiable y seguro. Igualmente, es importante garantizar la protección de la privacidad y la seguridad de los datos con medidas de seguridad sólidas.

10. Promueve el desarrollo de IoT masivo

El IoT masivo está asociado con la implementación y adopción generalizada de esta tecnología en los diferentes sectores de la economía o a gran escala, por lo que se requiere la interconexión y comunicación de un gran número de

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

dispositivos inteligentes y sensores que recopilan, procesan y transmiten datos para automatizar y mejorar los procesos y servicios. De modo que la característica primordial del IoT masivo es la escala en la que se despliega la tecnología y la cantidad de dispositivos conectados, de allí que dentro de las aplicaciones de IoT masivo se encuentren las ciudades y territorios inteligentes, la agricultura de precisión, el monitoreo masivo de la salud y los hogares inteligentes.

Por otra parte, se deben considerar los desafíos de IoT masivo respecto de la seguridad, la privacidad, la gestión de datos, la interoperabilidad, la escalabilidad y las oportunidades que trae esta tecnología para mejorar la eficiencia y la productividad en los diferentes sectores de la economía, así como la calidad de vida de los habitantes.

11. Aumenta significativamente el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones (Meta 9C ODS)

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el cual mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás, esta agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Con el objetivo 9 se busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, estos elementos desempeñan un papel importante en la introducción y promoción de nuevas tecnologías, además, facilitan el comercio internacional y permiten el uso eficiente de los recursos.

En el marco del desarrollo de la agenda se identificó que i) las tecnologías de la información y las comunicaciones siguen siendo escasas en muchos países en desarrollo, pues el 16% de la población mundial no tiene acceso a redes de banda ancha móvil; ii) los países menos adelantados tienen un inmenso potencial de industrialización en alimentos y bebidas (agroindustria) y textiles y prendas de vestir; y iii) en los países en desarrollo, el 30% de la producción agrícola se somete a procesos industriales, mientras que en los países de altos ingresos es el 98%. De allí que es evidente que existen grandes oportunidades para los países en desarrollo en materia de agonegocios.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Para el logro de este objetivo se plantearon varias metas, dentro de las cuales se encuentra la meta 9.C con la que se busca aumentar significativamente el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados.

12. Aumenta el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluidos créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados (Meta 9.3 ODS)

Tal como se indicó en el apartado anterior, en el marco de la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible de la ONU, dentro de los objetivos planteados se incluyó uno relacionado con la industria, la innovación y la infraestructura, el cual tiene asociadas ocho metas. Particularmente, la meta 9.3 está alineada con la industrialización inclusiva y sostenible, la innovación y la infraestructura, toda vez que gracias a estos elementos se puede dar rienda suelta a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos.

La cuantificación de estos subcriterios se realiza teniendo en cuenta su relación con las alternativas de solución planteadas, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 4. Cuantificación del criterio de conectividad para redes IoT

Subcriterios relacionados con la conectividad para redes IoT		Alternativa			
		1	2	3	4
1.	Incrementa las ofertas de conectividad para soluciones IoT en espectro no licenciado.	0	1	1	1
2.	Incrementa las ofertas de planes de datos en IMT para soluciones IoT.	0	1	1	1
3.	Incentiva ampliación de cobertura IMT.	0	0	1	1
4.	Disponibilidad de cobertura de redes en espectro no licenciado.	1	1	1	1
5.	Disponibilidad de cobertura de redes en espectro licenciado.	1	1	1	1
6.	Promueve el desarrollo de redes privadas en espectro no licenciado.	0	1	1	1
7.	Promueve el desarrollo de redes privadas en espectro licenciado.	0	0	1	0
8.	Promueve el desarrollo de Ciudades y territorios inteligentes.	0	1	1	1

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Subcriterios relacionados con la conectividad para redes IoT		Alternativa			
		1	2	3	4
9.	Promueve el desarrollo de IoT crítico.	0	0	1	1
10.	Promueve el desarrollo de IoT masivo.	0	0	0	1
11.	Aumenta significativamente el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones (Meta 9C ODS).	0	1	1	1
12.	Aumenta el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluidos créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados (Meta 9.3 ODS).	0	1	1	1
Sumatoria de presencia de subcriterios por cada alternativa		2	8	11	11
Total (Normalizado a escala de 5 a 0)		1,0	3,33	4,58	4,58

Fuente: Elaboración ANE

Los resultados obtenidos muestran que las alternativas que promueven en mayor medida la disponibilidad del servicio de datos para impulsar la masificación de IoT, son la 3 y la 4 con un puntaje de 4,58 cada una de ellas, ya que estas en consideración con los aspectos técnicos encierran la posibilidad de contar con una red privada y una red pública comercial IMT, por lo tanto son las más idóneas para propiciar una mayor conectividad para la comunicación entre los diferentes dispositivos IoT que intercambian información; e inclusive entre éstos y la nube; seguidamente se ubica la alternativa 2 con un puntaje de 3.33, con una menor disponibilidad del servicio de datos, y por último se encuentra la alternativa 1 con un puntaje de 1,0, manteniendo el statu quo en lo que respecta a la temática de este criterio.

2.4.1.3 Acceso y uso de espectro - Masificación de IoT

El acceso y uso del espectro radioeléctrico está relacionado con las tecnologías utilizadas en la implementación de soluciones IoT, en este sentido, se contemplan tecnologías que hacen uso de espectro licenciado y tecnologías que hacen uso de espectro no licenciado. Tal como se indicó en la sección 3.2 del documento de formulación del problema del presente estudio¹⁹, en Colombia existen dos mecanismos de acceso al espectro radioeléctrico, uno a través de un

¹⁹ Disponible en la página web de la ANE, en el enlace <https://www.ane.gov.co/Sliders/archivos/gesti%C3%B3n%20de%20gesti%C3%B3n%20y%20planeaci%C3%B3n/Espectro%20para%20IoT/Documentos%20para%20consulta/DocumentoEspectroIoT.pdf>.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

permiso de uso otorgado por la administración y el otro de manera libre en bandas de frecuencia establecidas de acuerdo con las recomendaciones de la UIT y casos internacionales de uso.

De modo que, este criterio se relaciona con la disponibilidad de equipos en las bandas de frecuencia consideradas y se mide como el posible incremento del acceso y uso del espectro por la implementación de la alternativa de solución, en aras de impulsar la masificación de IoT. Para cuantificar este criterio se definieron tres (3) subcriterios de igual importancia que permiten identificar la alternativa que más promueve el incremento en la oferta de dispositivos de IoT en el país y se describen a continuación.

1. Incentiva el incremento de oferta de dispositivos para IoT en espectro no licenciado

Si bien a nivel mundial, existen muchos dispositivos, sensores y actuadores que operan en bandas de espectro no licenciado (Wifi, Bluetooth, SigFox, LoRa, ZigBee y 6LoWP), la oferta de dispositivos LORA y Sigfox en el país puede estar limitada por los costos de importación, razón por la cual algunos proveedores de soluciones a la medida fabrican sus propios dispositivos, lo que al final puede conllevar a problemas de interoperabilidad y escalabilidad, lo que no sucede en el caso de dispositivos Wifi y Bluetooth. De modo que si se incentiva la digitalización de los diferentes sectores y por ende la masificación de IoT en el país se puede incrementar la oferta de dispositivos que hacen uso de espectro no licenciado.

2. Incentiva el incremento de oferta de dispositivos para IoT en espectro licenciado

Dentro de los dispositivos IoT se encuentran los sensores y actuadores, en el caso de los primeros se tienen sensores inteligentes que adicional a medir variables y guardar los datos, están dotados de comunicación inalámbrica para suministrar información a los actuadores que reaccionarán a partir del valor obtenido por los sensores. Tanto sensores como actuadores hacen parte de etiquetas inteligentes, tales como las etiquetas RFID; wearables para uso personal (smartwatches, zapatillas de deportes, pulseras para controlar el estado de salud, etc.); wearables para uso industrial (cascos, botas, guantes, gafas, etc.), entre otros.

Ahora bien, en materia de dispositivos IoT que funcionan en espectro licenciado, se deben considerar los módulos que funcionan en 2G, 3G y 4G, cuya oferta en el mercado colombiano es amplio, no obstante, se espera que con el incremento en la demanda de soluciones IoT se incremente la oferta de los dispositivos necesarios para su implementación.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

3. Incentiva el incremento de oferta de medidores inteligentes

Tal como se indicó en la sección 1.2 del documento de formulación del problema y objetivos, los medidores inteligentes no solo permiten registrar el consumo del servicio, sino que permiten a los usuarios realizar seguimiento al consumo en diferentes horas del día y a la empresa prestadora del servicio, gestionar remotamente la potencia de la red, detectar fallas o manipulaciones en el sistema para tomar oportunamente las acciones necesarias.

Igualmente, se considera importante tomar en cuenta las disposiciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) respecto de la implementación de la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI, por sus siglas en inglés) en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), establecidas mediante la Resolución 101 001 de 2022; en dicha norma se indica que los Operadores de Red (OR) podrán presentar a la CREG y al Ministerio de Minas y Energía el plan de implementación de AMI, dentro de los ciento veinte (120) días calendario siguientes a la publicación de la circular con el procedimiento, contenido y formatos que la Comisión expida para tal fin.

En relación con el despliegue de medidores inteligentes, de acuerdo con lo indicado en el artículo 32 de la mencionada resolución, se tendrá un plazo de sesenta (60) meses, contados a partir de la fecha de inicio del plan, para instalar el 100% de los medidores definidos para dicho período en el plan aprobado.

Una vez descritos los subcriterios relacionados con la disponibilidad de equipos, se procedió a realizar su cuantificación, la cual se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Cuantificación del criterio de disponibilidad de equipos para masificar IoT

Subcriterios relacionados con la disponibilidad de equipos para masificar IoT		Alternativa			
		1	2	3	4
1.	Incentiva el incremento de oferta de dispositivos para IoT en espectro no licenciado.	0	1	1	1
2.	Incentiva el incremento de oferta de dispositivos para IoT en espectro licenciado.	0	1	1	1
3.	Incentiva el incremento de oferta de medidores inteligentes.	0	0	1	0
Sumatoria de presencia de subcriterios por cada alternativa		0	2	3	2
Total (Normalizado a escala de 5 a 0)		1,0	3,33	5,0	3,33

Fuente: Elaboración ANE

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Los resultados obtenidos en la cuantificación del criterio de disponibilidad de equipos para masificar IoT, evidencian que la alternativa 3 con un puntaje de 5,0 es la que mayores incentivos puede generar para promover el incremento en la oferta de dispositivos de IoT en espectro no licenciado o espectro licenciado aplicando tecnologías de telecomunicaciones 2G, 3G y 4G; seguida de ésta se encuentran la alternativa 3 y la alternativa 4 con puntajes de 3,33 cada una. Finalmente, la alternativa 1 se encuentra en último lugar con un puntaje de 1,0 lo cual es congruente al no incentivar en la escala de evaluación la oferta de dispositivos IoT, manteniendo el statu quo en lo que respecta a la temática de este criterio.

2.4.1.4 *Información y condiciones claras para el desarrollo y uso de IoT*

Este criterio está relacionado directamente con la existencia de información y normatividad suficiente para la implementación de aplicaciones IoT en el país, en aras de lograr su masificación, dada la importancia de estas soluciones para lograr la digitalización de los diferentes sectores económicos y contribuir a la mejora de los procesos productivos.

Sin embargo, a pesar de contar con información y normatividad relacionada con el uso que se le puede dar al espectro radioeléctrico disponible para apalancar la conectividad de las soluciones IoT, en el marco del desarrollo del presente estudio se ha evidenciado un desconocimiento del tema por parte de algunos agentes de la cadena de valor.

Por lo tanto, para cuantificar este criterio se definieron los subcriterios que se describen a continuación, los cuales guardan igual importancia respecto de los objetivos del presente AIN.

1. Suministra más información sobre las características y condiciones de uso del espectro para la masificación de IoT

En el marco de la identificación del problema del presente estudio se evidenció que un elemento inherente a la falta de implementación de soluciones IoT en el país es la falta de información respecto del uso que se le puede dar al espectro radioeléctrico como recurso esencial para garantizar la conectividad de estas aplicaciones, pues tal como se ha indicado previamente, las soluciones IoT pueden implementarse haciendo uso de espectro licenciado y espectro no licenciado. Respecto del espectro no licenciado, las condiciones de uso están establecidas en la Resolución 105 de 2020²⁰ de la ANE, sin embargo, se considera importante poner a disposición de los interesados la información sobre la

²⁰ La norma compilada puede ser consultada en el enlace <https://www.ane.gov.co/Sliders/ANE%202021/CompilatoriaResolucio%CC%81nANE105de2020.pdf>.

ocupación de algunas bandas de espectro no licenciado que pueden ser de utilidad en la implementación de IoT.

2. Permite la apropiación de soluciones IoT en el sector productivo

Tal como se indicó en el marco de un encuentro con los beneficiados de los Centros de Excelencia y Apropiación, llevado a cabo por el Mintic el 26 de agosto de 2019, es importante fortalecer la articulación entre academia, empresa y Estado para lograr sinergias que apalancen el fortalecimiento de los sectores productivos. En este sentido, el gobierno mantiene el compromiso de continuar trabajando en la implementación de estrategias con tecnologías avanzadas, que permitan generar soluciones reales para los sectores productivos del país [14].

En materia de apropiación, de acuerdo con los resultados de la encuesta TIC 2019 - 2020, se encontró que el 6,8% de las empresas del sector comercio, el 7,8% de las empresas del sector industria y el 12,3% de las empresas del sector servicios utilizaron IoT dentro de sus procesos y; que el 2,9% de las empresas del sector comercio, el 4,7% de las empresas del sector industria y el 5,6% de las empresas del sector servicios planean utilizarlo [15]. Si bien, los datos no son recientes, se evidencia que aún hay un camino largo por recorrer para lograr la apropiación de esta tecnología por parte de los sectores productivos del país.

3. Promueve la implementación de medidas sobre la seguridad y protección de datos

En el marco de la implementación de aplicaciones IoT se debe considerar que la interacción entre dispositivos, entre dispositivos y la nube, entre dispositivos y la puerta de enlace, tiene como consecuencia que entre esos elementos se generen, intercambien y consuman datos casi sin intervención humana, lo que puede conllevar a que se vea amenazada la seguridad de los datos personales y privacidad e intimidad de los usuarios.

En consecuencia, y teniendo que cuenta que la masificación del IoT se relaciona con una estructura de big data, se tiene un reto importante respecto de la protección de datos, frente a lo cual, el instituto colegiado para TI de la British Computer Society (BCS), ha indicado que se deben crear políticas públicas realistas, enfocadas en la protección y la seguridad de los datos asociados a la implementación de IoT, por lo que se requiere de la articulación de entidades del gobierno, reguladores e industria y de la participación de la ciudadanía, en aras de cerrar la brecha entre las políticas de protección de datos que se diseñan y los efectos que tienen en la práctica [16].

De otra parte, Internet Society indica que la seguridad de la información personal en el entorno de IoT está directamente relacionada con la confianza de los usuarios en esta tecnología, de allí la importancia de que los agentes del sector

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

consideren la seguridad como una prioridad, pues dispositivos de IoT mal diseñados o defectuosos pueden exponer los datos de los usuarios y crear vulnerabilidades. En razón a lo anterior, existen grandes desafíos por la cantidad de dispositivos y enlaces, la homogeneidad de los protocolos de comunicación y la vida útil de los dispositivos, entre otros aspectos [17].

4. Promueve la innovación para la implementación de soluciones IoT en espectro no licenciado (Conpes 3975)

De acuerdo con lo indicado en el Conpes 3975, que corresponde a la política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial, las tecnologías digitales, actualmente consideradas tecnologías de propósito general, son valoradas como un factor determinante de la innovación empresarial, hoy en día se desarrollan aplicaciones tecnológicas en toda la cadena de valor que representan nuevas y mejores técnicas de producción, comercialización y logística. Al respecto, *“la innovación empresarial está cada vez más basada en datos, habilitado por las TIC y el despliegue del IoT, lo que ha permitido que los productos, servicios y procesos estén en el centro de la innovación”* [18].

A pesar de este contexto, no se evidencia en Colombia una masificación de estrategias entre los diversos actores de la cadena de valor para promover y gestionar la innovación basada en el uso de tecnologías digitales y desarrollo de nuevas soluciones a las problemáticas productivas actuales. Lo anterior, implica que no existe una eficiente difusión y apropiación tecnológica que permita al país alcanzar y superar el nivel de desarrollo tecnológico mundial para lograr una convergencia económica con los países desarrollados.

No obstante, a pesar de que en Colombia se ha avanzado en políticas más integradas hacia la apropiación de las TIC y la transformación digital desde los diferentes sectores, todavía no se considera como un eje decisivo de las políticas de competitividad y productividad del país [19].

5. No requiere normatividad sobre los mecanismos de acceso de espectro 5G para la implementación de aplicaciones IoT

En muchos escenarios se ha asociado el despliegue de redes 5G con la implementación de soluciones IoT, especialmente aplicaciones de IoT crítico e IoT masivo, sin embargo, aún no se tiene claridad respecto de si una futura asignación de espectro para redes 5G conllevará al desarrollo de ofertas de conectividad para apalancar la masificación de IoT en el país.

Ahora bien, tal como se indicó en la sección 3.2 del documento de formulación del problema y objetivos del presente estudio²¹, en Colombia se puede acceder

²¹ Disponible en el enlace <https://www.ane.gov.co/SitePages/Gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/index.aspx?p=3891>

al espectro a través de un permiso otorgado por la administración o de manera libre en ciertas bandas de frecuencia. De modo que dentro de los mecanismos de acceso al espectro que requieren permiso por parte de la administración se encuentran: i) el procedimiento de selección objetiva, ii) la asignación directa, iii) los permisos temporales para pruebas técnicas y, iv) el proceso de registro para estaciones terrenas satelitales.

Por su parte, a nivel internacional, dentro de los mecanismos de acceso al espectro que se han implementado se encuentran: i) prioridad por orden de solicitud, ii) el concurso público, iii) la licitación pública, iv) la adjudicación aleatoria (por sorteo) y la subasta. Frente a esta última es importante precisar que existen cuatro tipos, la subasta ascendente simultánea, la subasta combinatoria dinámica, la subasta simultánea de ronda única y la subasta secuencial [20].

En relación con la asignación de espectro para redes 5G, de conformidad con lo anunciado por el Mintic, en agosto del presente año se publicaron las condiciones técnicas, así como los requisitos jurídicos de participación y funcionamiento del mecanismo de subasta, la cual se llevará a cabo a finales de 2023 [21].

6. No requiere normatividad sobre los mecanismos de acceso de espectro 4G y 5G para la implementación de aplicaciones IoT en redes privadas.

Tal como se indicó en la sección 2.3.2.7, las redes de comunicaciones privadas son infraestructuras dedicadas que representan una gran alternativa para la digitalización de las empresas en el país. No obstante, a la fecha no se conoce de asignaciones de espectro para el desarrollo de este tipo de redes.

En relación con los mecanismos de acceso al espectro, en línea con lo indicado en la sección 2.3.4.5, para el desarrollo de redes privadas en Colombia se tendría que hacer uso de alguno de los mecanismos de acceso al espectro que requieren permiso por parte de la administración, dados los requerimientos de seguridad y confiabilidad de este tipo de redes.

7. Promueve la implementación de medidas de ciberseguridad para aplicaciones IoT

Un elemento esencial en la implementación de aplicaciones IoT es la ciberseguridad, toda vez que en la mayor parte de la cadena de valor de IoT no existe control directo sobre la información que se intercambia entre los dispositivos o entre los dispositivos y la nube. Por lo tanto, es importante considerar la seguridad en el diseño de los dispositivos y sensores involucrados en una solución IoT y más teniendo en cuenta que estos dispositivos tienen una amplia vida útil y pueden surgir nuevas amenazas en materia de seguridad de la información.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

8. No requiere estudios de convivencia sobre banda identificada para aplicaciones IoT.

En el marco de los estudios de convivencia de una banda de espectro identificada se realizan análisis y pruebas técnicas que permiten determinar la compatibilidad entre diferentes aplicaciones o servicios, así como la viabilidad del uso de algunas tecnologías. De esta manera se pueden establecer los requerimientos técnicos necesarios para el uso de una banda de frecuencia sin que se cause interferencia entre los servicios o aplicaciones que operan en esta o se degrade la calidad de dichos servicios.

Así pues, mediante los estudios de convivencia se evalúan aspectos tales como interferencia electromagnética, requisitos de calidad del servicio y cumplimiento de estándares técnicos y regulaciones.

9. No requiere modificación de Resolución 105 de 2020 y CNABF

La Resolución 105 de 2020 de la ANE es un instrumento normativo mediante el cual se planea y atribuye el espectro radioeléctrico en Colombia, que contiene la planificación de bandas de frecuencia para los diferentes servicios de radiocomunicaciones. De otra parte, teniendo en cuenta las disposiciones contenidas en el Decreto 4169 de 2011, la ANE estableció el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia (CNABF), documento que contiene entre otras cosas: i) las definiciones de términos relevantes para la administración del espectro radioeléctrico, las cuales se basan en las definiciones consignadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT, ii) la clasificación de los servicios radioeléctricos y las atribuciones, iii) las notas nacionales e internacionales, y iv) un compendio de los planes de distribución de canales para algunas aplicaciones particulares.

Cuando se requiere modificar las disposiciones contenidas en la Resolución 105 de 2020 o los requerimientos técnicos correspondientes al uso de espectro no licenciado es necesario modificar dicha norma. Ahora bien, en el caso de cambios en las atribuciones de bandas de espectro radioeléctrico es necesario realizar modificaciones al CNABF, lo que generalmente se realiza a través de modificaciones de la resolución antes citada.

10. No requiere expedición de normatividad para nuevo PSO

De conformidad con las disposiciones contenidas en la Ley 1150 de 2007, la selección objetiva se da cuando se elige la oferta más favorable para la entidad y para los fines que se buscan, por lo que las entidades deben establecer factores de escogencia y calificación que consideren la capacidad jurídica, las condiciones de experiencia, la capacidad financiera y de organización de los proponentes; es

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

así que los Procesos de Selección Objetiva (PSO) se han constituido en una herramienta esencial para la asignación del espectro radioeléctrico en el país.

De ahí que, con la expedición del Decreto 4392 de 2010, el Mintic estableció las etapas de los procesos de selección objetiva, así como los requisitos para la presentación de solicitudes y demás elementos necesarios para el otorgamiento de permisos de uso de espectro. Posteriormente, en 2020, el citado ministerio expidió la Resolución 1075, mediante la cual estableció las condiciones, requisitos y el trámite para otorgar o modificar permisos para el uso del espectro radioeléctrico, por el procedimiento de selección objetiva.

A continuación, en la Tabla 6 se presenta la cuantificación de los aspectos que componen el criterio de disponibilidad de información y normatividad, relacionándolos con cada una de las alternativas de solución al problema planteado en el presente estudio. Es importante indicar que los resultados de la cuantificación fueron normalizados a una escala de cero a cinco, en donde cinco significa que la alternativa de solución propicia una mayor disponibilidad de información y normatividad para la implementación de soluciones IoT y cero una baja disponibilidad de información y normas que conduzcan a la masificación de esta tecnología en el país. Adicionalmente, se considera pertinente aclarar que para tener una calificación coherente de los criterios, en algunos casos fue necesario plantear subcriterios de manera negativa para indicar ausencia de una característica en particular.

Tabla 6. Cuantificación del criterio de disponibilidad de información y normatividad

Subcriterios relacionados con disponibilidad de información y normatividad		Alternativa			
		1	2	3	4
1.	Suministra más información sobre las características y condiciones de uso del espectro para la masificación de IoT.	0	1	1	1
2.	Permite la apropiación de soluciones IoT en el sector productivo.	0	0	1	0
3.	Promueve la implementación de medidas sobre la seguridad y protección de datos.	0	0	1	1
4.	Promueve la innovación para la implementación de soluciones IoT en espectro no licenciado. (Conpes 3975)	0	1	1	1
5.	No requiere normatividad sobre los mecanismos de acceso de espectro 5G para la implementación de aplicaciones IoT.	1	1	1	0

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Subcriterios relacionados con disponibilidad de información y normatividad		Alternativa			
		1	2	3	4
6.	No requiere normatividad sobre los mecanismos de acceso de espectro 4G y 5G para la implementación de aplicaciones IoT en redes privadas.	1	1	0	1
7.	Promueve la implementación de medidas de ciberseguridad para aplicaciones IoT.	0	0	1	1
8.	No requiere estudios de convivencia sobre banda identificada para aplicaciones IoT.	1	1	0	0
9.	No requiere modificación de Resolución 105 de 2020 y CNABF.	1	1	0	1
10.	No requiere expedición de normatividad para nuevo PSO.	1	1	0	1
Sumatoria de presencia de subcriterios por cada alternativa		5	7	6	7
Total (Normalizado a escala de 5 a 0)		2,55	3,88	3,33	3,88

Fuente: Elaboración ANE

Los resultados obtenidos reflejan que la alternativa 2 y la alternativa 4 con un resultado de 3,88 cada una, son las que proporcionan una mayor disponibilidad de información y normatividad relacionada con el acceso y uso que se le puede dar al espectro radioeléctrico disponible para apalancar la conectividad de las soluciones IoT en el país; seguida de éstas se ubica la alternativa 3 con un puntaje de 3,33 proporcionando información y normatividad en una menor escala en consideración con sus anteriores referentes. Finalmente, se encuentra la Alternativa 1 en último lugar con un puntaje de 2,55 manteniendo el statu quo en lo que respecta a la temática de este criterio.

2.4.1.5 Grado de desarrollo en la implementación de aplicaciones IoT

La masificación de aplicaciones IoT requiere un mayor desarrollo de los elementos que hacen parte de la cadena de valor, especialmente en lo relacionado con las aplicaciones, la analítica de datos y la computación de borde o en la nube, de ahí que con este criterio se busca identificar la alternativa que más contribuye al desarrollo de estos elementos.

Así las cosas, para evaluar este criterio se definieron ocho (8) subcriterios de igual importancia, los cuales son:

1. Promueve el desarrollo de aplicaciones para IoT

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Una solución IoT puede ser muy sofisticada, dependiendo de los recursos y de la automatización de procesos que se tenga, por ejemplo, una solución para un cultivo puede tener solamente la medición de variables a partir del uso de sensores, que suministran información para la toma de decisiones por parte del agricultor o se puede tener una solución punta a punta en donde a partir de la información suministrada por los sensores de humedad existe una decisión que se envía de manera automática a los actuadores para que activen los dispositivos de riego, no obstante, en todas las soluciones se requiere de aplicaciones o plataformas que permitan visualizar la información para la toma de decisiones o hacer seguimiento a un proceso determinado.

En el caso de soluciones para hogares inteligentes o domótica existen muchas aplicaciones para el monitoreo y control de los diferentes dispositivos conectados, no obstante, en algunos casos están asociadas a una determinada marca o producto, aspecto que debe ser considerado al momento de implementar una solución de domótica. Dentro de estas aplicaciones se encuentran: Nest, Houseinhand KNX, Home Connect App, Google Home y Smart life, entre otras.

Asimismo, existen aplicaciones o plataformas a la medida, desarrolladas para la implementación de soluciones de un sector productivo específico o que hace uso de una tecnología en particular, tal es el caso de las aplicaciones desarrolladas para soluciones de agricultura, piscicultura, ganadería e industria que hacen uso de redes Sigfox o Lora.

2. Promueve el desarrollo de aplicaciones de IoT para los sectores productivos

Tal como se indicó en el apartado anterior, si bien, en el mercado existen aplicaciones o plataformas listas para usar, en algunos casos específicos es necesario contar con desarrollos a la medida, que permitan a los usuarios de las soluciones IoT monitorear las variables que se miden y tomar decisiones o gestionar los dispositivos que hacen parte de la solución. En el caso de sectores productivos, en el mercado existen plataformas que integran los sistemas propios de la empresa con las aplicaciones de IoT, de forma que se cuente con un entorno de monitorización para la gestión de los activos y procesos de la empresa.

3. Promueve el desarrollo de analítica de datos para IoT

En la medida en que se implementen soluciones IoT en los diferentes sectores de la economía del país, mayor será la cantidad de información que requiere ser analizada y procesada para la toma de decisiones, tal como lo indica el DNP, tanto el gobierno como las organizaciones privadas tienen el gran reto de reducir las barreras que dificultan el aprovechamiento de los datos para generar valor social y económico, pues gracias a los datos se puede tomar decisiones

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

informadas [22], de allí la importancia de la gestión y analítica de los datos recopilados, clasificados y almacenados en el marco de la implementación de soluciones IoT.

La analítica de datos contempla análisis descriptivos, predictivos, o prescriptivos que permiten diseñar estrategias, analizar problemáticas y tomar decisiones; en el caso de IoT la analítica se puede realizar en la frontera²² o en la nube, dependiendo del diseño y los requerimientos de la solución. A partir de los análisis de los datos generados por los sensores se toman decisiones, las cuales en algunos casos son transmitidas a los actuadores que hacen parte de la solución, en caso de que el proceso haya sido automatizado.

4. Promueve la automatización con aplicaciones IoT en procesos de producción de bienes y servicios (Fase inicial del despliegue de 5G)

En la industria existe la posibilidad de automatizar los procesos para lograr mayores eficiencias en la producción de un bien o en la prestación de un servicio, sin embargo, cuando dicha automatización implica la adquisición y uso de robótica, los costos son muy elevados y el retorno de la inversión se da en un plazo de tiempo bastante largo. Ahora bien, con el auge de la industria 4.0, se abren infinitas posibilidades para mejorar los procesos, gracias a la adopción de tecnologías tales como inteligencia artificial, IoT, robótica, impresión 3D, sistemas autónomos, nanotecnología, blockchain y ciberseguridad.

Con respecto al uso de aplicaciones IoT, que a partir de sensores y actuadores no solo permiten automatizar algunos procesos, sino que son una fuente de información para la toma de decisiones, cabe destacar que son una opción importante para mejorar la productividad en los diferentes sectores de la economía, de allí la importancia de la conectividad para impulsar su masificación.

Tal como se ha indicado previamente, una alternativa para el suministro del servicio de datos para la implementación de soluciones IoT es hacer uso de redes 5G, no obstante, se espera que el despliegue de este tipo de redes se dé por fases; en la fase inicial también conocida como "*non stand alone*", se prevé que será posible implementar aplicaciones tales como las asociadas al desarrollo de ciudades inteligentes, al transporte inteligente, a la agricultura de precisión, a la ganadería inteligente y a la manufactura inteligente, entre otras.

5. Promueve el desarrollo de computación de borde y en la nube para IoT

La elección del tipo de computación depende de los requerimientos de la solución IoT en materia de latencia, ancho de banda, privacidad, seguridad, escalabilidad,

²² En la computación de frontera o borde el análisis de los datos se realiza cerca al lugar donde se generan, lo cual es deseable cuando se requiere una respuesta rápida o en tiempo real y la computación en la nube se usa cuando se requiere realizar tareas de análisis de datos complejas.

requerimientos de procesamiento, acceso global y costos entre otros. Así pues, la computación de borde aplica principalmente cuando se requiere una latencia baja crítica, se tiene un ancho de banda limitado, se requiere mayor privacidad y seguridad de los datos y se requiere la toma de decisiones en tiempo real.

Por su parte con la computación en la nube se tiene una gran capacidad de procesamiento o almacenamiento y por lo tanto se pueden realizar tareas de análisis de datos complejas que requieren un gran poder de cómputo, así mismo se cuenta con acceso rápido a la información a nivel global. No obstante, se puede tener un esquema que haga uso de los dos tipos de computación, en aras de aprovechar las ventajas de estos y permitir que las tareas se desarrollen en el lugar más conveniente.

6. Promueve el desarrollo de medidas de ciberseguridad para aplicaciones IoT

En el marco del desarrollo tecnológico que conlleva a la digitalización de los diferentes sectores productivos y toda vez que la información es un activo vital para las empresas, existe una gran preocupación por la seguridad que se debería garantizar en la implementación de las tecnologías emergentes o que hacen parte de la industria 4.0, dentro de las cuales se encuentran las aplicaciones IoT, dicha situación también estuvo presente en los comentarios recibidos de agentes del sector en el marco de la consulta realizada frente a la formulación del problema del presente estudio²³.

De acuerdo con la UIT, la ciberseguridad es un conjunto de herramientas, políticas, conceptos de seguridad, salvaguardas de seguridad, directrices, métodos de gestión de riesgos, acciones, formación, prácticas idóneas, seguros y tecnologías que pueden utilizarse para proteger los activos de la organización y los usuarios (dispositivos conectados, servicios/aplicaciones, sistemas de comunicaciones y la totalidad de la información transmitida y/o almacenada, entre otros) en el ciberentorno²⁴ o ciberespacio [23]. La ciberseguridad incluye entre otras las propiedades de disponibilidad, integridad y confidencialidad [23].

7. Masifica la disponibilidad de datos públicos digitales accesibles, usables y de calidad

Uno de los elementos esenciales de IoT es la información generada a partir de la implementación de aplicaciones que miden diferentes variables de interés, ya sea para la toma de decisiones o para ponerla a disposición de los usuarios. Así las cosas, cabe precisar que de conformidad con la normatividad vigente en

²³ Los comentarios del sector se encuentran en el enlace <https://www.ane.gov.co/SitePages/Gestión%20técnica/index.aspx?p=4008>.

²⁴ El ciberentorno incluye a usuarios, redes, dispositivos, todo el software, procesos, información almacenada o que circula, aplicaciones, servicios y sistemas que están conectados directa o indirectamente a las redes [23].

materia de transparencia y acceso a la información²⁵, existen sujetos obligados a poner a disposición de los usuarios la información pública que se enmarque fuera de las excepciones previstas en dicha normatividad.

Asimismo, dicha normatividad plantea que dentro de la información mínima obligatoria que deben publicar los sujetos obligados se encuentran los datos abiertos de que dispongan, para lo cual deben considerar los requisitos establecidos por el Gobierno Nacional para tal fin y los define como “aquellos datos primarios o sin procesar, que se encuentran en formatos estándar e interoperables que facilitan su acceso y reutilización, los cuales están bajo la custodia de las entidades públicas o privadas que cumplen con funciones públicas y que son puestos a disposición de cualquier ciudadano, de forma libre y sin restricciones, con el fin de que terceros puedan reutilizarlos y crear servicios derivados de los mismos” [24].

8. Impulsa el desarrollo de aplicaciones IoT para ciudades inteligentes.

El desarrollo de ciudades inteligentes busca mejorar la calidad de vida de los habitantes, aumentar la eficiencia de los procesos, mejorar la sostenibilidad y competitividad, así como recopilar y procesar la información que genera la ciudad, la cual es de vital importancia en la toma de decisiones y en la atención de nuevas necesidades de los habitantes.

Específicamente, las naciones unidas definen las ciudades inteligentes como aquellas ciudades que usan la tecnología como herramienta para optimizar la eficiencia de la urbe y de su economía, siempre y cuando sirva para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y proteger la naturaleza [25]. La UIT cuenta con una comisión de estudio que se centra en IoT y las ciudades y comunidades inteligentes, dicha comisión está trabajando en la elaboración de normas internacionales con el fin de establecer criterios técnicos, procedimientos y prácticas que permitan el desarrollo coordinado de las tecnologías de IoT para las ciudades inteligentes y sostenibles.

Cabe recordar que dentro de las aplicaciones que apalancan el desarrollo de ciudades inteligentes se encuentran la gestión de la seguridad, la gestión inteligente de agua y energía, la gestión de luminarias y semáforos, la gestión de residuos, la gestión de estacionamientos, los sistemas de monitoreo del aire y los sistemas de transporte inteligente, entre otras. Así pues, se considera pertinente que las alternativas de solución contribuyan a impulsar el desarrollo de ciudades inteligentes.

²⁵ Ley 1712 de 2014 “Por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional y se dictan otras disposiciones”.

A partir de la descripción de los subcriterios asociados al grado de desarrollo de IoT, a continuación se presenta su cuantificación, en la cual se determina la relación de estos con cada una de las alternativas.

Tabla 7. Cuantificación del criterio correspondiente al grado de desarrollo para IoT

Subcriterios relacionados con el grado de desarrollo para IoT		Alternativa			
		1	2	3	4
1.	Promueve el desarrollo de aplicaciones para IoT.	0	1	1	1
2.	Promueve el desarrollo de aplicaciones de IoT para los sectores productivos.	0	0	1	0
3.	Promueve el desarrollo de analítica de datos para IoT.	0	1	1	1
4.	Promueve la automatización con aplicaciones IoT en procesos de producción de bienes y servicios (Fase inicial del despliegue de 5G).	0	0	1	0
5.	Promueve el desarrollo de computación de borde y en la nube para IoT.	0	1	1	1
6.	Promueve el desarrollo de medidas de ciberseguridad para aplicaciones IoT.	0	0	1	1
7.	Masifica la disponibilidad de datos públicos digitales accesibles, usables y de calidad.	0	1	1	1
8.	Impulsa el desarrollo de aplicaciones IoT para ciudades inteligentes.	0	0	0	1
Sumatoria de presencia de subcriterios por cada alternativa		0	4	7	6
Total (Normalizado a escala de 5 a 0)		1,0	2,5	4,375	3,75

Fuente: Elaboración ANE

Los resultados obtenidos muestran que la alternativa 3 con un resultado de 4,375 promueve el desarrollo de aplicaciones IoT así como de aquellas tecnologías involucradas en el manejo y procesamiento de información dentro de una red de comunicaciones IoT y el soporte de procesos de bienes y servicios automatizados; seguidamente se encuentra la alternativa 4 con un puntaje de 3,75 promoviendo un desarrollo del IoT masivo y crítico de manera no ágil en razón a los altos costos que implica su implementación. En cuanto a la alternativa 2 ubicada en tercer lugar con un puntaje es de 3,33, promueve el desarrollo de aplicaciones IoT y sistemas involucrados a partir de recomendaciones a determinadas autoridades estatales y la socialización de información sobre

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

aplicaciones IoT y tecnologías involucradas a través de un "Observatorio de espectro para IoT"; por último, se encuentra la alternativa 1 con un puntaje de 1,0 manteniendo el statu quo, en lo que respecta a la temática de este criterio.

2.4.1.6 *Uso de energía*

El IoT brinda soluciones que permiten la transformación digital de los diferentes sectores de un país, no obstante, es importante considerar el aspecto ambiental. Si se llegase a la masificación de esta tecnología, se esperaría un aumento de dispositivos que produciría un incremento en el uso de energía, aunque algunos de los dispositivos que se utilizan en soluciones IoT tiene un bajo consumo de energía. De igual manera, el uso de IoT en la optimización de procesos productivos podría contribuir a un consumo más eficiente de los recursos, dentro de los cuales se encuentra la energía.

Un ejemplo de esta optimización consiste en dinamizar la distribución de energía ya que el consumidor final la adquiriría directamente a través de la red de distribución lo cual evita la gestión de los minoristas en el campo de suministro y se reducen los costos de transacción e incrementa la sostenibilidad ambiental [26].

De modo que con este criterio se busca identificar la alternativa más amigable con el medio ambiente teniendo en cuenta la masificación de IoT, para lo cual se definieron cuatro (4) subcriterios de igual importancia así:

1. *Incentiva la evolución tecnológica a redes más eficientes y modernas como 4G o 5G*

A medida que avanzan los desarrollos tecnológicos, se busca que tanto los dispositivos como las redes de comunicaciones sean más eficientes en materia de consumo energético (kilowatio-hora por gigabyte), pues alrededor del 90% de los costos de la red móvil se destinan a pagar el consumo de energía eléctrica, la cual en su mayor parte es consumida por la red de enlace (RAN) [27]. Ahora bien, con la incursión de las redes 4G que, adicionalmente al ser más eficientes energéticamente, están basadas en IP y proporcionan altas velocidades y capacidades, se pueden implementar aplicaciones para la gestión de los recursos naturales tales como el agua y la energía.

De otro lado, tal como lo indica el Banco Interamericano de desarrollo (BID), se espera que la conectividad de las redes 5G contribuya a lograr un impacto positivo en el cambio climático, gracias al uso de las TIC en las empresas, los vehículos autónomos y la implementación de IoT para la adopción tanto de ciudades como de casas y edificios inteligentes, la gestión de servicios públicos, la adopción de la agricultura de precisión y el desarrollo de redes privadas, entre otros.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Adicionalmente, el BID hace referencia a lo indicado por el Foro Económico Mundial respecto del papel de las tecnologías disruptivas en la disminución del 20% de emisiones de carbono para el 2050, por parte de los sectores económicos que más las producen y al objetivo establecido por la GSMA para que los operadores de redes móviles alcancen las emisiones de carbono netas cero para dicho año [28].

2. Promueve el uso eficiente de la infraestructura de red, evitando duplicidad en los recursos

Tal como se ha indicado a lo largo del desarrollo del presente estudio, la conectividad necesaria para la implementación de aplicaciones IoT puede ser suministrada a través de las redes móviles que existen en el país actualmente, lo cual implica que se puede aprovechar la infraestructura de red existente para tal fin. En este sentido, los dispositivos IoT permiten transmitir datos cuando solo es requerido asegurando una optimización del uso de la red y de paso evitando la duplicidad de recursos [29].

En complemento, los dispositivos de IoT tienen la capacidad de realizar tareas de selección y filtrado de datos previo a la transmisión de éstos a la bodega de datos. Esta depuración reduce la sobrecarga de la red permitiendo gestionar altos volúmenes de información y eludiendo la duplicidad de recursos [30].

Por tanto, las características que ofrecen las soluciones IoT contribuyen a la minimización de la duplicidad de recursos promoviendo el uso eficiente de la infraestructura de red, lo cual permite una operación más sostenible.

3. Promueve el uso de tecnologías más sostenibles

Las soluciones IoT promueven el modelo de economía circular definido como el modelo de producción y consumo para prolongar la vida útil de materiales y productos existentes, involucrando el compartimiento, arrendamiento, reúso, renovación, reciclaje y reparación de los materiales y productos existentes durante su mayor tiempo de vida posible [31]. El rol de IoT es permitir tener información oportuna y estratégica en el rendimiento del producto y/o material con el fin de extender su vida útil evitando el consumo y la producción excesiva de estos, garantizando una economía sostenible en el mediano plazo [32].

De igual forma, las soluciones IoT contribuyen al análisis del ciclo de vida de los productos o servicios, el cual involucra varios aspectos, dentro de los cuales se encuentra la evaluación de temas ambientales en todas las fases del ciclo de vida del producto o servicio, permitiendo diseñar o mejorar la gestión ambiental en desarrollo sostenible a largo plazo [33].

Por consiguiente, las soluciones IoT permiten acceder a la información para el desarrollo del análisis desde la recolección de los datos de la fabricación del

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

producto pasando por la comercialización y la finalización de la vida útil del mismo. Esto permite por el lado del consumidor fortalecer la conciencia ambiental y el consumo responsable a portas de tener acceso a una mayor cantidad de información [34] [35] y por el lado de la oferta permite generar prácticas sostenibles que se traducen en una ventaja competitiva en el mercado [36].

4. *Permite mejorar la gestión de recursos naturales*

En la medida en que el IoT contribuye a la gestión tanto del aire como del agua, la energía y el gas [37], se considera pertinente contemplar los beneficios que se obtendría del uso y masificación de este tipo de aplicaciones. Con ellas se puede reducir el sesgo de incertidumbre de información en la toma de ediciones a través de la evidencia de los datos en tiempo real dado que permite la oportuna detección y posterior minimización de impactos ambiental negativos, como por ejemplo reducción de consumos de energía [38] o reducción en la huella ambiental [39].

En consecuencia, la masificación de IoT permite mejorar la planificación de la demanda y la oferta de recursos naturales generando una asignación más eficiente y sostenible de éstos. Esto posibilita la optimización de la gobernanza institucional de los recursos naturales previniendo prácticas de explotación ilegal y sobreexplotación de los recursos naturales [40].

La cuantificación de los aspectos que hacen parte del criterio de uso de energía se presenta en la Tabla 8, donde se tiene en cuenta la relación de los subcriterios con las alternativas de solución propuestas.

Tabla 8. Cuantificación del criterio relacionado con el uso de energía

Subcriterios relacionados con el uso de energía		Alternativa			
		1	2	3	4
1.	Incentiva la evolución tecnológica a redes más eficientes y modernas como 4G o 5G.	0	0	1	1
2.	Promueve el uso eficiente de la infraestructura de red, evitando duplicidad en los recursos.	0	1	1	1
3.	Promueve el uso de tecnologías más sostenibles.	0	0	1	1
4.	Permite mejorar la gestión de recursos naturales.	0	1	1	1

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Subcriterios relacionados con el uso de energía	Alternativa			
	1	2	3	4
Sumatoria de presencia de subcriterios por cada alternativa	0	2	4	4
Total (Normalizado a escala de 5 a 0)	1,0	2,5	5,0	5,0

Fuente: Elaboración ANE

A partir de los resultados obtenidos, se observa que las alternativas que tienen mejor desempeño, es decir aquellas que más promueven el uso eficiente de los recursos son la 3 y la 4, que obtuvieron una calificación de 5, puesto que no solo hacen uso de tecnologías más eficientes y modernas sino que promueven el uso de tecnologías más sostenibles; seguidas de éstas se encuentra la alternativa 2, que obtuvo 2,5 puntos; al igual que las alternativas ganadoras, ésta promueve el uso de infraestructura de red existente y permite mejorar la gestión de recursos naturales como el agua y la energía; entre tanto, la alternativa 1 con un puntaje de 1,0 es la que tiene el peor desempeño y mantiene el statu quo en lo que respecta a la temática de este criterio.

2.4.2 Desarrollo de la evaluación

Teniendo en cuenta, por un lado, la información de la evaluación de cada alternativa en función de la presencia y ausencia de los subcriterios que conforman cada criterio de evaluación y por otro lado la información de los ponderadores de cada criterio de evaluación, se realiza un promedio ponderado con estos dos conjuntos de información y se obtiene el resultado expuesto en la siguiente tabla.

Tabla 9. Resultados de la evaluación de alternativas

Criterio	Peso	Número de subcriterios	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Costo de inversiones y oportunidad	33%	12	3,75	3,33	1,67	1,25
Conectividad para redes IoT - Disponibilidad del servicio	23%	12	1,00	3,33	4,58	4,58
Acceso y uso de espectro - Masificación de IoT	22%	3	1,00	3,33	5,00	3,33

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Información y condiciones claras para el desarrollo y uso de IoT	12%	9	2,50	3,89	3,33	3,89
Grado de desarrollo en la implementación de aplicaciones IoT	6%	8	1,00	2,50	4,38	3,75
Uso de energía	4%	4	1,0	2,5	5,0	5,0
TOTAL	100 %	48	2,10	3,32	3,55	3,08

Fuente: Elaboración ANE

La alternativa que presentó un mejor desempeño fue la número 3, que está compuesta de tres elementos: i) Identificar rangos de espectro para redes privadas (4G y 5G), ii) realizar recomendaciones a entidades competentes para que el gobierno incentive en el sector productivo la digitalización de sus procesos y adopción de mecanismos de ciberseguridad y iii) definir una estrategia de divulgación sobre las alternativas de uso de espectro para la implementación de IoT en Colombia y el nivel de ocupación georreferenciado de espectro no licenciado; esta alternativa tuvo un desempeño de 3.55 puntos. Entre tanto, las alternativas 2 y 4 tuvieron un segundo y tercer mejor desempeño respectivamente.

Los resultados de desempeño de la alternativa 3 obedecen a que en cuatro (4) de los seis (6) criterios de evaluación planteados tuvo el mejor desempeño entre las cuatro alternativas de solución. En detalle, estos cuatro criterios fueron la conectividad para redes IoT, el acceso y uso de espectro, el grado de desarrollo en la implementación de aplicaciones IoT y el uso de energía, en este último tiene el mismo desempeño que la alternativa 4.

Por otro lado, las alternativas 2 y 4 tuvieron el mejor desempeño en el criterio de información y condiciones claras para el desarrollo y uso de IoT y la alternativa 1 fue la que tuvo el mejor desempeño en el criterio de costos de inversiones y de oportunidad.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

3. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

A partir de la evaluación de alternativas realizada en la sección anterior, a continuación, se describen las acciones correspondientes a la alternativa número 3, elegida como la mejor opción para solucionar el problema identificado en el presente estudio.

3.1 Identificar rangos de espectro para redes privadas (4G y 5G)

La identificación de rangos de espectro para apalancar la conectividad de redes privadas implica las siguientes acciones:

- I. Realizar una revisión internacional respecto de la identificación de bandas de frecuencia para el desarrollo de redes privadas, que estén enfocadas a brindar la conectividad necesaria a empresas de los diferentes sectores productivos en los países que se tomen como referentes, en aras de lograr su transformación digital. Para la identificación de dichos rangos de espectro se revisará su estado de ocupación en el país y se realizarán los estudios de convivencia pertinentes, en caso de ser requeridos.
- II. Se llevará a cabo una revisión frente a los desarrollos tecnológicos en materia de dispositivos para la implementación de redes privadas en los diferentes sectores de la industria.

A partir de los estudios y análisis que se realicen, así como de la revisión de desarrollos tecnológicos, se podrá presentar una propuesta sobre las condiciones de uso de las bandas de espectro identificadas.

- III. Con respecto a los mecanismos de acceso al espectro por parte de los sectores productivos, la ANE realizará un estudio en aras de definir los parámetros de contraprestación y elementos asociados a la asignación de este recurso y presentará las recomendaciones pertinentes al Mintic.

3.2 Recomendaciones a entidades competentes para que se incentive la digitalización de los sectores productivos y la adopción de mecanismos de ciberseguridad

Teniendo en cuenta los hallazgos en el marco del desarrollo del presente estudio, así como los comentarios de los agentes del sector, respecto de la formulación del problema y las alternativas de solución, la ANE presentará recomendaciones

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

a la Dirección de apropiación de TIC del Viceministerio de transformación digital del Mintic, en aras de que se incentive la digitalización de los sectores productivos.

Por ejemplo, en el marco de la consulta sobre formulación de las alternativas de solución del presente estudio, ETB sugirió que se tenga en cuenta la creación de una Incubadora IoT, mediante la cual diferentes entidades del estado brinden asesoramiento para la adopción de IoT en la industria.

Asimismo, se presentarán recomendaciones a dicho viceministerio, con el fin de que se incentive la aplicación de medidas de seguridad en la implementación de soluciones IoT en el país, lo anterior, teniendo en cuenta el impacto de la ciberseguridad sobre las aplicaciones IoT, ya que estas aplicaciones pueden recopilar y manejar información sensible que puede ser compartida a través de internet. Es por esta razón, que dichas aplicaciones y tecnologías pueden estar sujetas a vulnerabilidades que impactarían gravemente aspectos relacionados con la seguridad y privacidad.

En esa línea, resulta pertinente presentar recomendaciones para que las entidades competentes en la materia desarrollen iniciativas y programas estratégicos que permitan mitigar posibles amenazas o ataques a las soluciones IoT, las cuales podrían incluir posibles ataques a dispositivos IoT, a los enlaces de comunicación y a la nube.

En relación con medidas de ciberseguridad, se considera pertinente mencionar los casos de Singapur, país donde el regulador ha publicado algunos de los lineamientos incluidos en el documento "Seguridad y privacidad en las redes móviles" de la GSMA [35] y de Chile, que en su estrategia de transformación digital plantea como objetivos establecer un ecosistema de ciberseguridad y trabajar por una cultura integral de ciberseguridad [36].

3.3 Estrategia de divulgación sobre alternativas de uso del espectro

En el marco de esta estrategia se plantea crear un "*Observatorio de espectro para IoT*", que permita divulgar a todos los interesados algunos elementos esenciales para la implementación de aplicaciones IoT y conseguir la masificación de esta tecnología, para lo cual se creará un micrositio en la página web de la entidad (www.ane.gov.co) que contará entre otros, con información sobre los siguientes elementos:

1. Casos de uso de IoT identificados.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

2. Mecanismos de acceso al espectro radioeléctrico disponible para la implementación de soluciones IoT.
3. Niveles de ocupación de algunas bandas de frecuencia que pueden ser utilizadas para ofrecer conectividad a las soluciones IoT.
4. Despliegue de redes de comunicaciones disponibles para la implementación de soluciones IoT.
5. Disponibilidad de equipos para la implementación de soluciones IoT.

Para el desarrollo del micrositio denominado "*Observatorio de espectro para IoT*", se deben tener en cuenta las siguientes etapas:

- I. Definición de información a publicar (detalle, periodicidad, actualizaciones): Se espera contar con informes trimestrales sobre los niveles de ocupación de algunas bandas de espectro no licenciado.
- II. Levantamiento de información a publicar
- III. Definición de la herramienta a utilizar para mostrar la información relacionada con ocupación de algunas bandas de espectro no licenciado: Dado que se cuenta con información desagregada a nivel de área geográfica, una opción es presentar dicha información mediante un mapa.
- IV. Creación del "*Observatorio de espectro para IoT*": En términos generales la creación de una página web o micrositio implica los siguientes pasos:
 - Diseño del observatorio
 - Desarrollo del observatorio
 - Pruebas
 - Puesta en producción
- V. Mantenimiento del "*Observatorio de espectro para IoT*": En este caso se requiere contar con un responsable de la publicación y actualización periódica de la información.

No obstante, dada la experiencia de la ANE en la construcción de micrositios, es necesario realizar un proceso de contratación para tal fin.

4. CONCLUSIONES

A partir del proceso de evaluación de alternativas llevado a cabo en el marco de la aplicación de la metodología AIN del estudio *"Espectro para atender el crecimiento futuro y la masificación de aplicaciones IoT"* se concluye que:

1. Para una entidad es muy importante contar con información suficiente y desagregada sobre las actividades inherentes a la cadena de valor de un sector en particular, no solo por el conocimiento en sí, sino porque en la medida en que se puedan monetizar los costos e impactos de una alternativa de solución a un problema, se podrán aplicar metodologías como costo beneficio o costo efectividad en la aplicación del AIN.
2. A pesar de no contar con información suficiente para monetizar costos e impactos de las alternativas de solución, se puede hacer uso de la cuantificación de subcriterios para que la aplicación del análisis multicriterio sea más objetiva y robusta.
3. Los resultados de la evaluación de alternativas sujetos a los seis criterios de evaluación muestran que el costo de oportunidad tiene un rol importante en el desarrollo de IoT. Por esta razón, la alternativa 1, *statu quo*, registra la mejor calificación en desempeño respecto de los costos de oportunidad, pero no propicia impulso alguno hacia la masificación del IoT en el país ni a la digitalización de los sectores productivos y por el contrario amplía la brecha de adopción tecnológica de las empresas. No obstante, los beneficios de la implementación de IoT medidos a través de los demás criterios de evaluación muestran mejores desempeños en las demás alternativas, en especial en la alternativa 3, que, en términos globales fue la que tuvo mejor desempeño. En otras palabras, es mayor el costo de no materializar los beneficios del IoT, que los costos propios de implementar estas aplicaciones.
4. Dentro del ejercicio del AIN, se contó con la participación de algunos agentes del sector, se considera importante que la mayoría de los actores de la cadena de valor participen activamente en el desarrollo de los estudios que lleva a cabo la ANE, de esta forma sus opiniones pueden tenerse en cuenta en las medidas regulatorias que expida la entidad.
5. La alternativa de solución que contempla la identificación de rangos de espectro 4G y 5G para redes privadas; recomendación a entidades estatales para incentivar la digitalización de los procesos productivos y de servicios a través de aplicaciones IoT y la adopción de mecanismos de ciberseguridad; y la creación de un observatorio de espectro para IoT es la propuesta de la ANE que mejor resuelve en el corto tiempo los aspectos relacionados con la

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

incertidumbre respecto de las condiciones técnicas y normativas para el desarrollo y eventual masificación del IoT en Colombia, implicando una mayor innovación en el acceso al espectro para lograr maximizar la utilización de este recurso y promover la apropiación de estas soluciones a través de redes de telecomunicaciones inalámbricas.

6. El IoT es uno de los pilares fundamentales de la digitalización de los sectores productivos dentro de la industria 4.0; sin embargo, los retos y oportunidades que implica su despliegue y masificación vienen acompañados de grandes riesgos en la seguridad de la información. La ciberseguridad es uno de los aspectos vitales para el desarrollo y la implementación del IoT, de ahí la importancia de asumir en todo momento estrategias de ciberseguridad tanto a nivel de red de telecomunicaciones como a nivel organizacional.
7. Para la implementación de la alternativa elegida, se podrían considerar sinergias con otros estudios adelantados por la ANE, por ejemplo, los resultados obtenidos a partir del AIN del estudio "Espectro para la transformación digital de sectores productivos" podrían en parte dar respuesta a la alternativa elegida en el presente estudio.

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

REFERENCIAS

- [1] DNP, «Guía Metodológica para la Elaboración de Análisis de Impacto Normativo (AIN),» Bogotá, 2021.
- [2] R. S. Pindyck y D. L. rubinfeld, Microeconomía, Pearson Prentice Hall, 2001.
- [3] DNP, CONPES 4085. Política de internacionalización para el desarrollo productivo regional, Bogotá, 2022.
- [4] Deloitte, «Estrategia para la transformación digital de los sectores productivos en América Latina,» CAF, Caracas, 2020.
- [5] UIT, Recomendación UIT-T X.1364. Requisitos y marco de seguridad de la Internet de las cosas de banda estrecha, Ginebra, 2020.
- [6] UIT, «Ciudades inteligentes y sostenibles,» Diciembre de 2021. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/smart-sustainable-cities.aspx>. [Último acceso: 14 de junio de 2023].
- [7] CINTEL, «Ciudades Inteligentes,» [En línea]. Available: <https://cintel.co/lineas-de-accion/innovacion/ciudades-inteligentes/>. [Último acceso: 14 de junio de 2023].
- [8] MINTIC, «Centros de Excelencia y Apropiación son ejemplo de innovación y apropiación de tecnologías en el país,» 26 de agosto de 2019. [En línea]. Available: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/102881:Centros-de-Excelencia-y-Apropiacion-son-ejemplo-de-innovacion-y-apropiacion-de-tecnologias-en-el-pais-Ministra-TIC>. [Último acceso: 19 de mayo de 2023].
- [9] MINTIC, «Análisis de los resultados de la encuesta TIC 2019 - 2020,» Diciembre de 2022. [En línea]. Available:

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

https://colombiatic.mintic.gov.co/679/articles-273766_recurso_1.pdf. [Último acceso: 19 de mayo de 2023].

- [10] T. C. I. f. I. o. B. C. S. (BCS), «The Societal Impact of the Internet of Things,» 14 de febrero de 2013. [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20190805162457/https://www.bcs.org/upload/pdf/societal-impact-report-feb13.pdf>. [Último acceso: 19 de mayo de 2023].
- [11] I. Society, «La Internet de las cosas - Una breve reseña,» Octubre de 2015. [En línea]. Available: <https://www.internet-society.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>. [Último acceso: 19 de mayo de 2023].
- [12] Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES, Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial, Bogotá, D.C., 2019.
- [13] DNP, «Conpes 3975,» 8 de noviembre de 2019. [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3975.pdf>. [Último acceso: 19 de mayo de 2023].
- [14] ANE, «Manual de gestión nacional del espectro radioeléctrico,» 31 de diciembre de 2012. [En línea]. Available: https://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/Planeacion/poli-lineamientos-manuales/Manuales/ManualGestionEspectro/Titulo_VI.pdf. [Último acceso: 19 de mayo de 2023].
- [15] MINTIC, «Subasta 5G en Colombia,» 14 de junio de 2023. [En línea]. Available: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/276491:Subasta-5G-en-Colombia-se-adjudicara-el-20-de-diciembre>. [Último acceso: 14 de junio de 2023].
- [16] DNP, «Guía normativa aplicable a la explotación de datos,» Junio de 2020. [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Digital/Docu>

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

mentos/Modelo%20Explotacion%20de%20datos/2.3%20Gu%C3%ADa%20normativa%20explotaci%C3%B3n%20de%20datos_VF.pdf. [Último acceso: 21 de julio de 2023].

- [17] UIT, *Recomendación UIT-T X.1205. Aspectos generales de la ciberseguridad*, Ginebre, 2008.
- [18] E. C. d. I. República, Ley 1712, Bogotá, 2014.
- [19] UN, «¿Sabes qué son las ciudades inteligentes?,» 18 de octubre de 2016. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2016/10/sabes-que-son-las-ciudades-inteligentes/>. [Último acceso: 31 de julio de 2023].
- [20] Q. Gu y Q. Qu, «Towards an Internet of Energy for smart distributed generation: applications, strategies, and challenges,» *Journal of Computational Design and Engineering*,, vol. 9, pp. 1789-1816, 2022.
- [21] O. N. 5. d. España, «Las operadoras aumentan la eficiencia de sus redes para reducir costes,» 12 de enero de 2021 . [En línea]. Available: <https://on5g.es/las-operadoras-aumentan-la-eficiencia-de-sus-redes-para-reducir-costes/>. [Último acceso: 31 de julio de 2023].
- [22] BID, «La conectividad 5G, un impacto positivo en el cambio climático,» [En línea]. Available: <https://idbinvest.org/es/blog/cambio-climatico/la-conectividad-5g-un-impacto-positivo-en-el-cambio-climatico>. [Último acceso: 31 de julio de 2023].
- [23] N. C. Kumar y D. D. Annapurna, «Efficient Data Transmission Model for Internet of Things Application,» *IEEE*, 2021.
- [24] K. ALoufi, K. Malik, T. Naeem y R. Mir, «Data Transmission and Capacity over Efficient IoT Energy Consumption,» *IJCSNS*

International Journal of Computer Science and Network Security,,
vol. VOL.19 No.12, 2019.

- [25] European Parliament, «Circular economy: definition, importance and benefits,» <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits>, 2023.
- [26] A. Rejeb, S. Zailani, K. Rejeb y S. Seuring, «The Internet of Things and the circular economy: A systematic literature review and research agenda,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 350, 2022.
- [27] European Environment Agency, «Life-cycle assessment (LCA) – a guide to approaches, experiences and information sources,» Environmental Issues Series, 1998.
- [28] R. M. Severis, F. J. Simioni, J. M. M. Moreira y R. A. Alvarenga, «Sustainable consumption in mobility from a life cycle assessment,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 234, pp. 579-587, 2019.
- [29] S. Sala y V. Castellani, «The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 240, 2019.
- [30] Deloitte, «Enhancing the value of life cycle assessment,» 2012.
- [31] M. I. Rosca, C. Nicolae, E. Sanda y A. Madan, «Internet of Things (IoT) and Sustainability,» *The Bucharest University of Economic Studies*, Vols. %1 de %23-5, pp. 346-352, 2021.
- [32] D. Wang, D. Zhong y A. Souri, «Energy management solutions in the Internet of Things applications technical analysis and new research directions,» *Cognitive Systems Research*, vol. 67, pp. 33-49, 2021.
- [33] P. Asopa, P. Purohit, R. R. Nadikattu y D. P. Whig, «Reducing Carbon Footprint for Sustainable development of Smart Cities using IoT,»

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

Proceedings of the Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks, 2021.

- [34] M. Maheswaran, «Why The IoT Will Save Our Natural Resources,» 21 February 2020. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/02/21/why-the-iot-will-save-our-natural-resources/?sh=49b5aeab1be5>.
- [35] GSMA, de 2018. [En línea]. Available: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2018/04/Seguridadyprivacidad.pdf>. [Último acceso: 31 de julio de 2023].
- [36] «Estrategia de transformación digital,» 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/88c35833-80d0-409f-b156-46ec3491a941/content>. [Último acceso: 3 de octubre de 2023].
- [37] D. f. C. a. L. Government, «Multi-criteria analysis: a manual,» 2009. [En línea]. Available: http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf. [Último acceso: 22 de noviembre de 2020].
- [38] D. A. R. y. S. Peacock, Multi-Criteria Decision Analysis to Support Healthcare Decisions, Canadá: Springer International Publishing, 2017.
- [39] R. R. B. y. L. N. Dahai Liu, «Using the Analytical Hierarchy Process as a Tool for Assessing Service Quality,» diciembre de 2005. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/255586406_Using_the_Analytical_Hierarchy_Process_as_a_Tool_for_Assessing_Service_Quality. [Último acceso: 18 de abril de 2023].
- [40] P. H. y. L. Vargas, «The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process,» noviembre de 1987. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/227445821_The_Theor

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

y_of_Ratio_Scale_Estimation_Saatys_Analytic_Hierarchy_Process
. [Último acceso: 16 de marzo de 2023].

- [41] T. L. Saaty, «Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process,» septiembre de 2008. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03191825>. [Último acceso: 13 de mayo de 2023].
- [42] GSMA, «La Economía Móvil en América Latina,» 2022. [En línea]. Available: https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2022/11/SPANISH_GSMA_LATAM_ME2022_R_Web.pdf. [Último acceso: 15 de agosto de 2023].
- [43] O. N. 5. d. España, «Surgen las redes privadas 5G, con proyectos muy ambiciosos e integrados,» 29 de diciembre de 2021 . [En línea]. Available: <https://on5g.es/surgen-las-redes-privadas-5g-con-proyectos-muy-ambiciosos-e-integrados/>. [Último acceso: 15 de agosto de 2023].
- [44] T. L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- [45] OCDE, «Medición y aplicaciones del IoT,» Octubre de 2018. [En línea]. Available: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/656e87dd-es.pdf?expires=1692306761&id=id&accname=guest&checksum=F717876A292257D4B166F21AA01CCCCB>. [Último acceso: 31 de julio de 2023].
- [46] UIT, «IoT for Development of Smart Sustainable Cities,» 13 de diciembre de 2017. [En línea]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/ArabStates/Documents/events/2017/IoTSMW/Presentations-IoT/Session1/IoT4SSC_Session_1_Benjillali.pdf. [Último acceso: 6 de septiembre de 2023].

Agencia Nacional del Espectro

Dirección: Calle 93 # 17-45 Piso 4. Bogotá D.C.

Conmutador: (+57) 60 (1) 6000030

Correo Institucional: contactenos@ane.gov.co

[47] L. J. Aguilar, (Industria 4.0 La cuarta revolución industrial, Alfaomega.